



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TEORETICKÝ ROZBOR VÝROBY LOŽÍSK

THEORETICAL ANALYSIS OF BEARING PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Peter Prno

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Peter Prno**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Teoretický rozbor výroby ložisk

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled standardních a speciálních metod výroby. Rozbor konkrétního typu ložiska.

Cíle bakalářské práce:

- Charakteristika ložisk z hlediska konstrukce a funkčnosti.
- Využívané výrobné metody.
- Speciálne požiadavky kladené na výrobu ložisk.
- Voľba konkrétneho typu ložiska.
- Zostavenie štandardného technologického procesu.
- Technicko–ekonomické zhodnotenie.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření, plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2013. 170 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl a Tomáš PODRÁBSKÝ. Konstrukční oceli. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 1996. 262 s. ISBN 80-85867-95-8.

Kolektiv autorů. Ekologie obrábění. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2000. 98 s. ISBN 80-7044-328-6.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha : Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Prvá časť tejto práce bola venovaná charakteristike ložísk a ich významu v technickej praxi. Druhá časť má rešeršný charakter. Zaoberá sa prehľadom konvenčných metód výroby klzných a valivých ložísk. Ide o hlavnú časť tejto práce. Súčasťou práce je aj zostavenie technologického postupu výroby zvolenej časti valivého ložiska. Jedná sa o vonkajší krúžok axiálneho súdkového ložiska.

Kľúčové slová

klzné ložiská, valivé ložiská, metódy výroby ložísk, vonkajší krúžok, axiálne súdkové ložisko

ABSTRACT

The first part of this thesis was devoted to the characteristics of bearings and their importance in technical practice. The second part has a search character. It deals with an overview of the conventional methods of sliding and rolling bearings production. This is the main part of this thesis. Part of the thesis is also compilation of technological process of production of selected part of rolling bearing. This is the outer ring of the axial spherical roller bearing.

Key words

sliding bearings, rolling bearings, manufacturing methods of bearings, outer ring, axial spherical roller bearing

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

Citácia tlačenej práce:

PRNO, Peter. *Teoretický rozbor výroby ložísk*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116318>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

Citácia elektronického zdroja:

PRNO, Peter. *Teoretický rozbor výroby ložísk* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116318>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som bakalársku prácu na tému „Teoretický rozbor výroby ložísk“ vypracoval samostatne, pod vedením Ing. Milana Kalivodu, s použitím odbornej literatúry a prameňov, uvedených v zozname použitých zdrojov.

Dátum

Peter Prno

POĎAKOVANIE

Týmto by som sa chcel poďakovať všetkým, ktorí mi akýmkoľvek spôsobom pomohli pri spracovávaní mojej bakalárskej práce. Predovšetkým je to vedúci práce Ing. Milan Kalivoda. Za podporu počas celej doby štúdia patrí veľká vďaka aj mojej rodine.

OBSAH

ABSTRAKT	4
ČESTNÉ PREHLÁSENIE	6
POĎAKOVANIE	7
OBSAH.....	8
ÚVOD.....	10
1 CHARAKTERISTIKA LOŽÍSK Z HĽADISKA KONŠTRUKCIE A FUNKČNOSTI.....	11
1.1 Význam ložísk v technickej praxi.....	11
1.1.1 Trenie	11
1.1.2 Valivý odpor	13
1.1.3 Opotrebenie.....	14
1.2 Typy ložísk a ich charakteristika	15
1.2.1 Klzné ložiská.....	15
1.2.2 Valivé ložiská	20
1.2.3 Špeciálne ložiská.....	24
2 POŽIADVKY KLADENÉ NA VÝROBU LOŽÍSK	25
2.1 Presnosť výroby	25
2.2 Vlastnosti materiálu	26
2.2.1 Vlastnosti materiálov klzných ložísk.....	26
2.2.2 Vlastnosti materiálov valivých ložísk.....	27
2.3 Ostatné požiadavky.....	27
3 METÓDY VÝROBY LOŽÍSK	28
3.1 Metódy výroby klzných ložísk	28
3.1.1 Výroba klzných ložísk technológiou odlievania.....	28
3.1.2 Výroba klzných ložísk technológiou obrábania.....	30
3.1.3 Výroba klzných ložísk pomocou práškovej metalurgie.....	31
3.1.4 Ostatné technológie výroby klzných ložísk	35
3.2 Metódy výroby valivých ložísk	37
3.2.1 Výroba ložiskových krúžkov	37
3.2.2 Výroba valivých teliesok	44
3.2.3 Výroba ložiskových kliebok	48
3.2.4 Montáž	48
4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	50
4.1 Voľba typu ložiska.....	50
4.2 Voľba materiálu a polotovaru	50
4.3 Voľba strojov a nástrojov	51

4.3.1 Delenie polotovaru.....	51
4.3.2 Sústruženie.....	51
4.3.3 Brúsenie	52
4.3.4 Superfinišovanie	53
4.3.5 Ostatné úkony	54
4.3.6 Rámcový technologický postup.....	54
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE.....	55
5.1 Prípad sériovej výroby	55
ZÁVER	57
ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	58
ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK.....	63
ZOZNAM PRÍLOH.....	65

ÚVOD

V dnešnej dobe je možné pozorovať snahu ľudstva mechanizovať, resp. automatizovať činnosti, ktoré boli kedysi vykonávané manuálne. Nejde len o činnosti (operácie) v strojárskom priemysle, ale aj v iných odvetviach, ako potravinárstvo, stavebníctvo, energetika, domácnosť a pod. Ložisko je súčasťou takmer každého zariadenia (stroja), kde sa vyskytujú pohyblivé komponenty. V zložitejších strojoch sa môžu nachádzať desiatky až stovky ložísk. Bez ložísk by žiadna mechanizácia nebola možná, preto sú v technickej praxi veľmi významnou skupinou medzi časťami strojov.

Ložiská zabezpečujú správny a spoľahlivý chod strojov. Preto im pri výrobe musí byť venovaná patričná pozornosť. Okrem precíznej výroby a kvalitného materiálu samotného ložiska existujú ďalšie aspekty, ktoré majú významný vplyv na bezproblémový chod. Medzi najpodstatnejšie patrí voľba správneho typu ložiska, kvalifikovaná montáž a údržba.

Táto práca sa podrobnejšie zaoberá problematikou ložísk. Jedná sa o veľmi širokú problematiku. Hlavným cieľom je popis využívaných technológií pri výrobe ložísk.

Pre lepšie porozumenie problematike boli vedúcim práce doporučené exkurzie priamo vo výrobe. Tieto exkurzie sa vo firmách Schaeffler Skalica, spol. s r. o. a ZKL Brno, a.s. aj podarilo uskutočniť. Detailnejšie výrobné informácie, ktoré by mohli byť použité v praktickej časti tejto práce však bohužiaľ neboli poskytnuté. Výrobcovia ložísk bežne tieto informácie nezverejňujú a skôr sa snažia držať ich v tajnosti. Preto bolo nutné pri vypracovávaní tejto práce vychádzať iba z voľne dostupnej literatúry. Z hľadiska všeobecného prehľadu o výrobe niektorých typov ložísk boli prínosné aj spomínané exkurzie.

1 CHARAKTERISTIKA LOŽÍSK Z HLADISKA KONŠTRUKCIE A FUNKČNOSTI

Táto rozsiahla kapitola je venovaná jednak všeobecnému úvodu do ložiskovej problematiky ale aj hlbšiemu rozboru. Obsahuje základné pojmy, princípy, rozdelenia ložísk, popis ich častí a možnosti ich použitia.

1.1 Význam ložísk v technickej praxi

Ložiská patria medzi základne časti strojov. V nich majú svoje neodmysliteľné úlohy. Slúžia na minimalizovanie odporu (trenia), opotrebenia a zabezpečujú presnú polohu rotujúcich komponentov. Zabezpečujú správny chod strojov.

Vedný obor zaoberajúci sa otázkou trenia, opotrebenia s mazania sa volá tribológia [1]. Práve táto náuka tvorí základ pre fungovanie ložísk ale aj iných častí strojov. Bez kvalitného ložiska nebude nikdy zabezpečený správny a tichý chod daného stroja.

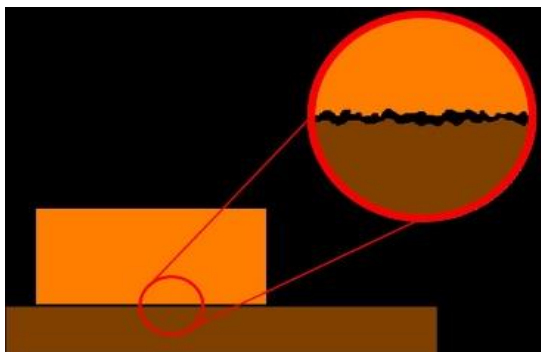
1.1.1 Trenie

Trenie je súčasťou každodenného života človeka. Vzniká pri kontakte telies a ich následnom pohybe. Bráni vzniku pohybu alebo pôsobí ako odpor proti pohybu. Tento odpor sa nazýva trecia sila.

Veľkosť trecej sily súvisí so stavom povrchov zúčastnených telies ale aj materiálom, z ktorého sú vyrobené, prípadne ich relatívnou rýchlosťou. Veľký vplyv má taktiež mazanie. Všetky tieto parametre vyjadruje tzv. súčiniteľ trenia. Jeho veľkosť sa zisťuje experimentálne. Na veľkosť trecej sily taktiež vplýva aj vzájomné pôsobenie týchto telies – normálová sila. Trenie sa prejavuje stratou mechanickej energie [1].

Modelová situácia je znázornená na obr. 1. Na prvý pohľad sa zdajú povrchy oboch telies pomerne hladké, čo by znamenalo, že veľkosť trecej sily by bola zanedbateľná. S dostatočne veľkým priblížením však bude jasné, že textúry povrchov vôbec nie sú tak hladké, ako sa zdalo. Treciu silu je teda nutné vždy zohľadňovať.

Textúra povrchu u žiadneho telesa nie je úplne ideálna. Vždy sa na povrchu nachádzajú nejaké odchýlky od ideálneho geometrického tvaru, ktoré môžu byť rozmiestnené buď náhodne alebo pravidelne. Môžu to byť stopy po obrábaní, drsnosti, vlnitosti, nedokonalosti a odchýlky tvaru. Textúra povrchu väčšinou závisí od použitej technológie pri výrobe telesa [2].



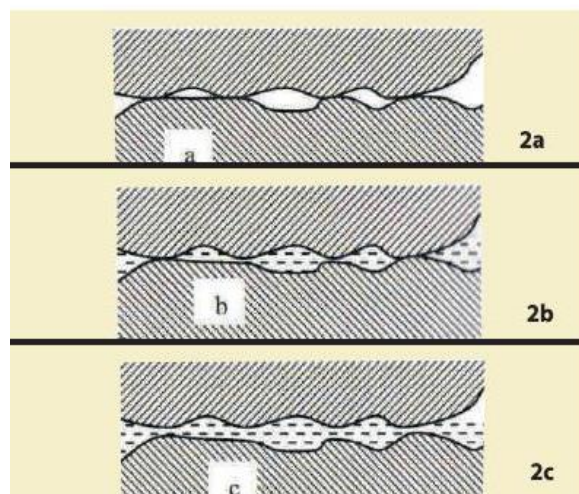
Obr. 1 Modelová situácia kontaktu dvoch telies [3].

Pri zadaných všetkých vstupných parametroch by sa veľkosť trecej sily v tejto modelovej situácii dala vyjadriť číselne. Podľa pohybu sa trenia delia na dva základné druhy. Veľkosti trecej sily by sa líšili. Preto sú tieto druhy nižšie popísané jednotlivo (viď aj príloha 1).

- **Statické trenie** – nastáva, ak sú zúčastnené telesá v pokoji. Zabraňuje vzniku relatívneho pohybu. Tento pohyb nastáva v momente prekonania maximálnej pokojovej trecej sily.
- **Šmykové trenie** – nastáva, ak zúčastnené telesá konajú relatívny pohyb. Vznikajúca trecia pôsobí vždy proti relatívnemu pohybu.

V technickej praxi sa ďalej podľa použitia použitého kvapalného média – maziva rozlišujú tri stavy trenia (tieto stavy zahrňuje súčiniteľ trenia).

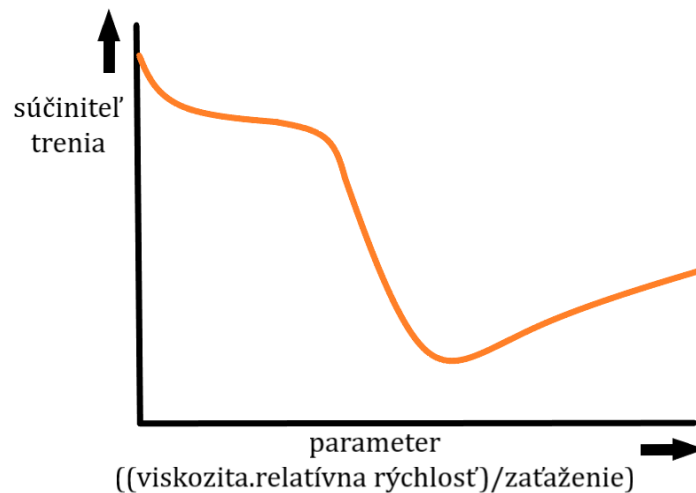
- **Suché trenie** – charakterizuje neprítomnosť maziva. Trecie povrchy sa dotýkajú (obr. 2a).
- **Zmiešané trenie** – charakterizuje prítomnosť maziva, pričom hrúbka jeho vrstvy nie je dostatočná na oddelenie trecích povrchov. Dotýkajú sa vrcholy niektorých mikronerovností.
- **Kvapalinové trenie** – charakterizuje takisto prítomnosť maziva. Trecie povrchy sú úplne oddelené vrstvou maziva [4].



Obr. 2 Stavy trenia [4]: a) suché trenie, b) zmiešané trenie, c) kvapalinové trenie.

Platí, že statické trenie je výrazne väčšie ako šmykové. Vypovedá o tom aj priebeh hodnôt súčiniteľa šmykového trenia v závislosti na relatívnej rýchlosti, dynamickej viskozite maziva a zaťažení. Táto závislosť sa nazýva tzv. Stribeckova krivka (obr. 3). Maximálna hodnota súčiniteľa trenia je práve v mieste nulovej relatívnej rýchlosti. Potvrdením sú aj hodnoty súčiniteľov trenia v prílohe 1.

Dôvodom je kontakt vrcholov mikronerovností s veľmi malým povrchom a preto sú v nich veľmi veľké tlaky. To spôsobuje vznik lokálnych mikropoplastických deformácií a adhézie – priľnavosti oboch povrchov k sebe. [1]



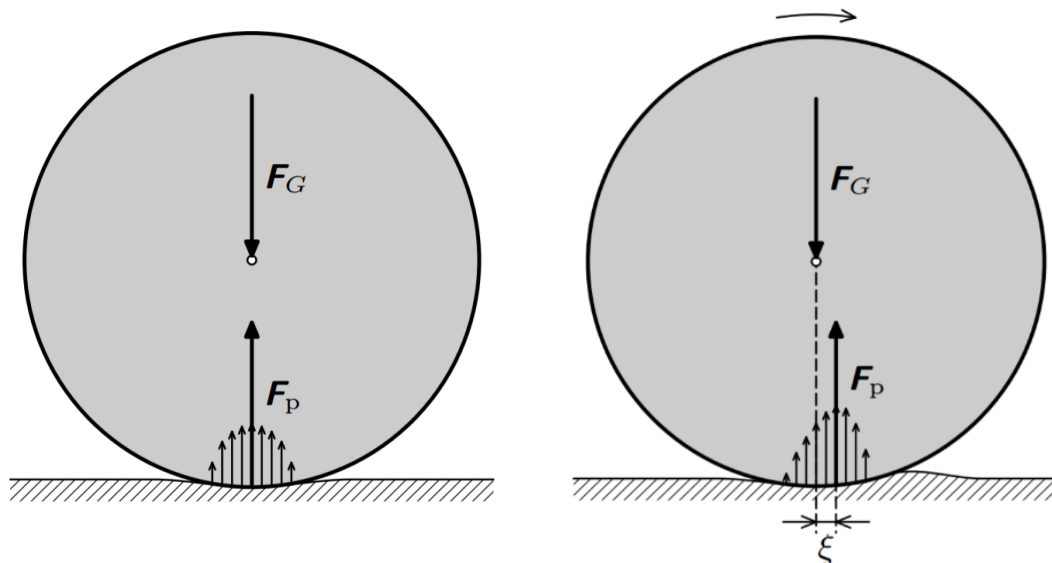
Obr. 3 Stribeckova krivka.

Na vplyv trenia sa dá pozerat' z dvoch pohľadov. Na jednej strane má trenie vplyv pozitívny. Tento vplyv sa niekedy nazýva aj nevyhnutný, pretože by bez neho nefungovali základné činnosti vykonávané ľudstvom každodenne (napr. chôdza po ulici alebo jazda autom). Medzi ostatné príklady pozitívneho vplyvu patria trenia u brzd, spojok, zváraní pomocou trenia a pod. Na druhej strane existujú trenia s negatívnym vplyvom. Je potrebné vytvárať viac energie pre ich prekonanie. Znižujú účinnosť strojov a spôsobujú opotrebenia, ktoré môžu viesť až k strate funkčnosti. Tieto trenia je nutné minimalizovať. Dobrým príkladom je rotácia hriadeľa v diere. Práve ložiská riešia tento problém. Zabezpečujú minimalizáciu trenia medzi oboma časťami a zároveň poskytujú presné uloženie hriadeľa. Bez ložiska by došlo k okamžitému prehriatiu vplyvom trenia a následnému zadretiu, prípadne inému poškodeniu.

1.1.2 Valivý odpor

K valivému odporu dochádza pri odvaľovaní telesa kruhového prierezu po podložke. Vplyvom, že obe telesá nie sú ideálne tuhé nastáva ich deformácia a vytvorenie malej kontaktnej plochy, na ktorú pôsobí ich kontaktný tlak. V pokoji (obr. 4a) bude priebeh tohto tlaku po ploche symetrický – kolmá tlaková sila (výslednica kontaktného tlaku) mieri do osi kruhového telesa. Nastáva teda silová aj momentová rovnováha a valivý odpor nenastáva. Situácia sa zmení ak kruhové teleso začne konať pohyb (obr. 4b). Kontaktná plocha sa môže vychýliť v smere pohybu a zmení sa aj priebeh kontaktného tlaku, ktorý už nebude symetrický – vychýlenie kolmej tlakovej sily. Vzdialenosť vychýlenia tejto sily sa nazýva rameno valivého odporu. Podobne ako súčiniteľ trenia, veľkosť ramena valivého odporu súvisí hlavne s materiálom zúčastnených telies ale aj stavom povrchov (viď príloha 1). Veľkosť valivého odporu sa dá teda vyjadriť pomocou zavedenia momentu **M**. Tento moment pôsobí vždy proti smeru pohybu [5].

Dôležité je poznamenať, že veľkosť valivého odporu je výrazne menšia ako veľkosť šmykového trenia [1]. Príkladom využitia valenia môžu byť opäť ložiská (valivé). Trenie, ktoré by vznikalo medzi hriadeľom a dierou je pomocou nich prevedené na valenie viacerých valivých teliesok, čo je omnoho prijateľnejšie.

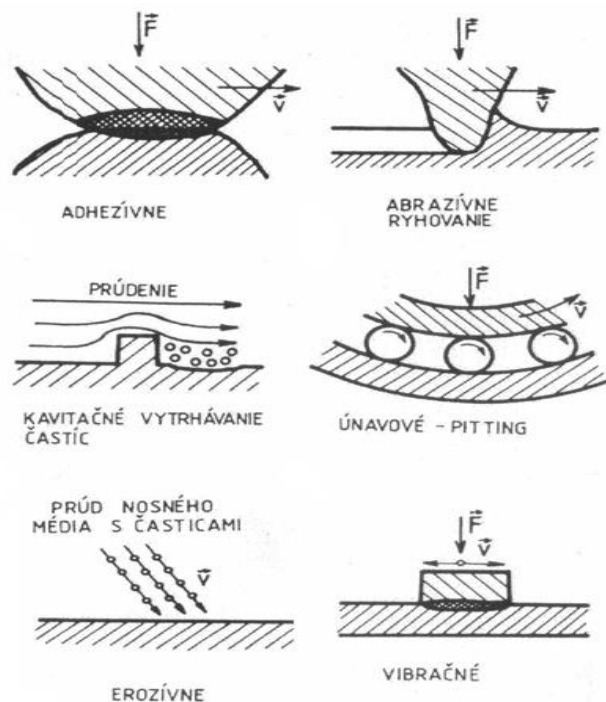


Obr. 4 Valivý odpor [5]: a) pokoj, b) pohyb – valenie.

1.1.3 Opotrebenie

Opotrebenie sa v technickej praxi považuje za nežiadúci jav. Vzniká vplyvom trenia, valenia, prúdenia média a pod. Prejavuje sa úbytkom častíc z funkčného povrchu, čo má za následok degradáciu rozmerov a tvarov. V technickej praxi sú rozoznávané rôzne druhy opotrebenia (obr. 5).

- **Adhézne opotrebenie** – spôsobujú mikroskopické spojenia nerovností povrchov. Pri zániku spojenia dochádza k vytrhávaniu častíc. Tento druh opotrebenia je v praxi najčastejší a dá sa eliminovať použitím maziva.
- **Abrazívne opotrebenie** – je príčinou pôsobenia tvrdšieho telesa na mäkkšie. Výsledkom tohto opotrebenia sú ryhy.
- **Erozívne opotrebenie** – spôsobuje dopad prúdu média (kvapalného alebo plynného).
- **Kavitačné opotrebenie** – vzniká pri prúdení kvapalného média v mieste zníženého tlaku (napr. zúženie potrubia alebo lopatka vodnej turbíny).
- **Únavové opotrebenie (pitting)** – vzniká u cyklicky zaťažovaných komponentov (napr. boky zubov ozubených kolies alebo funkčné plochy valivých ložísk).
- **Vibračné opotrebenie** – vzniká pri kmitavom pohybe [6].



Obr. 5 Druhy opotrebenia [6].

Práve opotrebenie je veľkým problémom mnohých častí strojov, pretože ak je prekročená určitá hranica opotrebenia, dochádza k strate funkčnosti stroja. Voľbou správneho typu ložiska a jeho príslušnou údržbou je možné výrazne predĺžiť životnosť vybraných komponentov, a teda aj zostáv – strojov.

1.2 Typy ložísk a ich charakteristika

V technickej praxi je možné sa stretnúť s tromi základnými skupinami ložísk:

- **klzné ložiská,**
- **valivé ložiská,**
- **špeciálne ložiská.**

1.2.1 Klzné ložiská

Túto skupinu tvoria časti strojov, ktoré prostredníctvom svojich špecifických vlastností umožňujú a výrazne uľahčujú pohyb (hlavne rotačný, prípadne kývavý). Medzi ich špecifické vlastnosti sa radia hlavne kvalita funkčných plôch, vhodné mazanie a použitie klzného materiálu.

Majú pomerne jednoduchú konštrukciu. Hlavnú časť tvorí ložiskové puzdro vo tvare dutého valca (môže mať aj iný tvar napr. prírubový). V ňom sa pohybuje hriadeľ. Puzdro býva vložené v ráme stroja alebo komponente. Môže byť celistvé alebo zložené z paniev (prípadne segmentov). Puzdrá sa ďalej delia na typy bez výstelky alebo s výstelkou. Výstelkou sa rozumie vrstva klzného materiálu metalurgicky pripevnená k puzdru. Tieto základné typy puzdier sú na obr. 6 [7].



Obr. 6 Typy puzdier [8, 9, 10]: a) celistvé puzdro, b) zložené puzdro, c) puzdro s výstelkou.

Je dôležité poznamenať, že termínom klzné ložisko často môže byť myslené celé uloženie, vrátane hriadeľa. Dôvodom je úprava jeho povrchu (tepelné alebo chemicko-tepelné spracovanie). To robí výrobou týchto hriadeľov pomerne drahú. Aby nedošlo k ich opotrebeniu, je výhodnejšie zabezpečiť prenesenie opotrebenia na ložiskovú panvu. Tá je oveľa lacnejšia a aj jej výmena je jednoduchšia ako výmena hriadeľa [7].

Aj napriek veľkému rozšíreniu valivých ložísk si v technickej praxi klzné ložiská stále držia svoje postavenie. Všetky ich výhody môžu byť splnené iba pri správnom mazaní a optimálnej vôli v uložení. Správnym mazaním sa rozumie práca v oblasti kvapalinového trenia a vyhybanie sa treniu zmiešanému. Pri zmiešanom trení dochádza ku opotrebeniu, na rozdiel od kvapalinového, kedy by teoreticky malo byť opotrebenie nulové. Medzi ich hlavné výhody patria [11]:

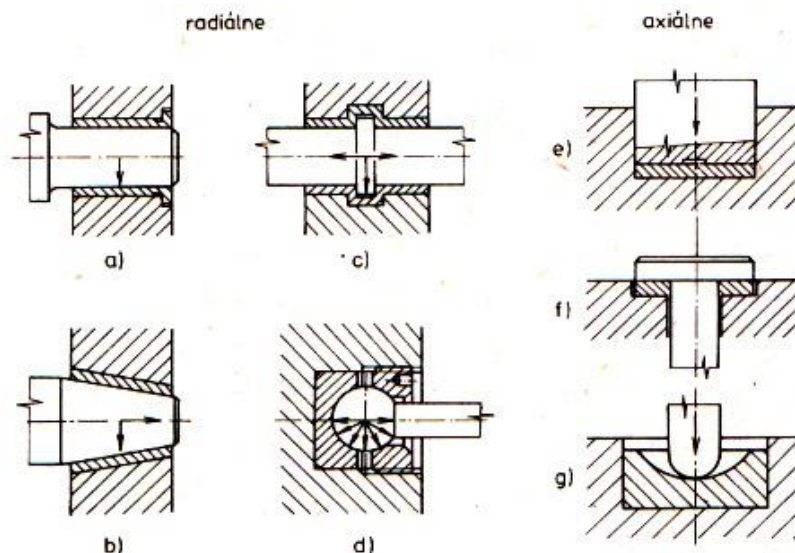
- jednoduchosť,
- odolnosť voči preťaženiu, rázom a kmitom,
- odolnosť voči znečisteniu,
- jednoduchá montáž a demontáž,
- jednoduché opravy,
- nižšia cena oproti valivým ložiskám (hlavne pri väčších priemeroch).

Majú aj svoje nevýhody [11]:

- nárast hodnoty súčiniteľa trenia pri menších rýchlostiach (pri rozbehu),
- nutnosť zabehávania,
- vyššia spotreba maziva (to neplatí pre bezmazné a samomazné typy).

Klzné ložiská je možné rozdeliť podľa druhu prenášaného zaťaženia (obr. 7) od hriadeľov na ostatné časti stroja:

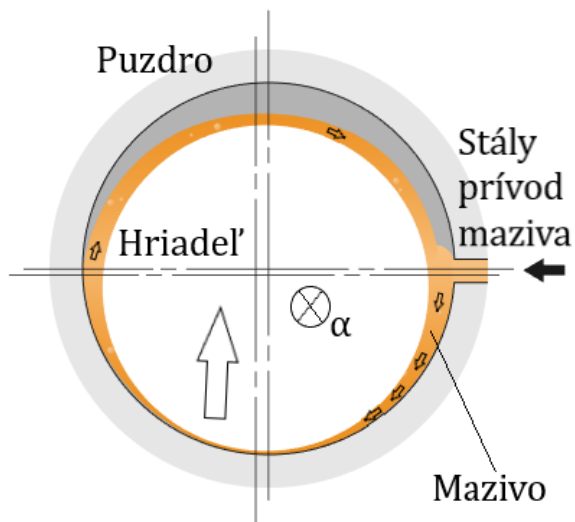
- **radiálne** – prenášajú zaťaženie kolmé na os hriadeľa,
- **axiálne** – zaťaženie v nich pôsobí v smere osi hriadeľa,
- **radiálne-axiálne** – prenášajú radiálne aj axiálne zaťaženie (mávajú spravidla kužeľové alebo guľové funkčné plochy).



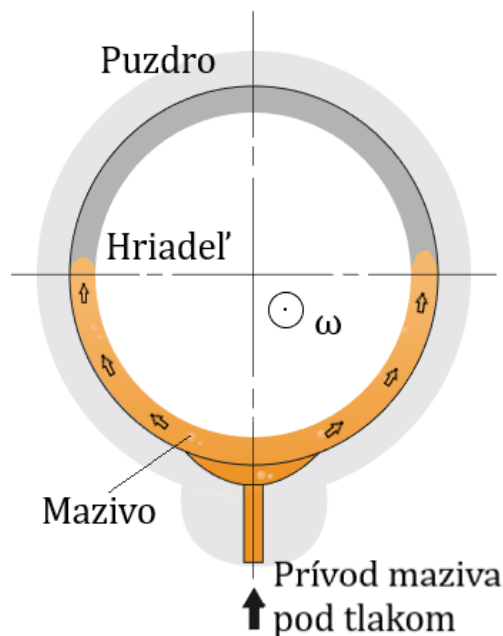
Obr. 7 Typy klzných ložísk podľa zaťaženia [12]: a) radiálne, b) kužeľové, c) hrebeňové, d) guľové, e) pätné, f) prstencové, g) guľovité.

Mazanie je veľmi významným faktorom pre správne fungovanie týchto ložísk. Najčastejšie sa ako mazivá používajú ropné minerálne oleje, mazacie tuky alebo tuhé mazivá [13]. Presné parametre maziva (napr. viskozita) by mali byť stanovené výrobcom ložiska. U klzných ložísk sa rozlišujú rôzne režimy mazania.

- **Hydrodynamické** – je charakteristické pre kvapalinové trenie. Tvorba vrstvy mazacieho filmu spočíva v náraste rýchlosti relatívneho pohybu (otáčok). Tým je zvyšovaný tlak v mazive a preto môže mazivo prejsť do zúžených miest medzi povrchmi. Mazací film môže prenášať zaťaženie pôsobiace na trecie povrchy vtedy, ak je relatívna rýchlosť dostatočne veľká – vytvorenie protitlaku. Pre hydrodynamické mazanie (obr. 8) je potrebný stály prívod maziva, avšak nie je potrebný prívod pod zvýšeným tlakom. Problémom ložísk s týmto mazaním môžu byť rozbehové rýchlosti. Ložisko vtedy pracuje v medznom režime mazania (viď nižšie). Vzniká vtedy tzv. rozbehové trenie, ktoré je niekoľkokrát väčšie ako trenie prevádzkové.
- **Hydrostatické** – je podobné hydrodynamickému mazaniu. Rozdiel je však v spôsobe zvýšenia tlaku v mazive. U hydrostatického mazania (obr. 9) zabezpečuje tlak v mazive vonkajší zdroj. Relatívny pohyb tu nie je potrebný. Preto sa tento režim mazania často volí u ložísk s veľmi malými rýchlosťami a taktiež ak je vyžadovaný veľmi malý súčiniteľ trenia.



Obr. 8 Hydrodynamické mazanie.



Obr. 9 Hydrostatické mazanie.

- **Medzné mazanie** – nastáva úbytkom hrúbky mazacieho filmu, ktorá môže byť až tak malá, že trecie povrchy oddeľuje vrstva iba niekoľkých molekúl maziva. Úbytok môže byť zapríčinený znížením relatívnej rýchlosti, zvýšením zaťaženia, poklesom množstva dodávaného maziva alebo zvýšením jeho teploty. Pri medznom mazaní môže dochádzať ku zmiešanému treniu – väčší súčiniteľ trenia a opotrebenie.
- **Mazanie tuhými mazivami** – sa používa u klzných ložísk, ktoré musia pracovať pri extrémnych teplotách alebo nie je možné zabezpečiť prívod maziva k ložisku. Tieto situácie neumožňujú použitie bežných minerálnych olejov. Náhradou sú tzv. tuhé mazivá. Príkladom môže byť grafit, disulfid molybdeničitý alebo rôzne kompozitné materiály [14].

Na materiály klzných ložísk sú kladené veľmi vysoké požiadavky. Tieto požiadavky sú podrobnejšie popísané v ďalšej kapitole. Spektrum materiálov vhodných pre výrobu klzných ložísk je pomerne veľké. Voľba materiálu ložiska závisí na prevádzkových podmienkach, v ktorých bude ložisko pracovať.

Klzné vlastnosti materiálov vyjadruje tzv. súčiniteľ čapového trenia (viď príloha 1). Popisuje k akým veľkým trecím stratám v danom spojení hriadeľ-puzdro dochádza.

Na výrobu klzných ložísk sa najčastejšie používajú tieto materiály [15, 16]:

- cínové, olovené (obr. 10) alebo hliníkové bronzy,
- cínové a olovené kompozície,
- mosadz,
- oceľ,
- šedá ložisková liatina,
- hliník,
- grafit,
- PTFE (obr. 12),
- PA,
- kombinácie (obr. 11).



Obr. 10 Puzdro z oloveného bronzu [17].



Obr. 11 Puzdro (bronz-PTFE) [18].



Obr. 12 Klzné ložiská z PTFE-PA [19].

Klzné ložiská nachádzajú v technickej praxi veľké a nezastupiteľné využitie. Sú vhodné pre široký rozsah zaťaženia a teplôt, prácu s rázmi alebo aj prevádzku bez údržby. Dobrým príkladom sú klzné ložiská kľukového hriadeľa alebo ojnicné ložiská, pomocou ktorých môžu jazdiť milióny motorových vozidiel po celom svete.

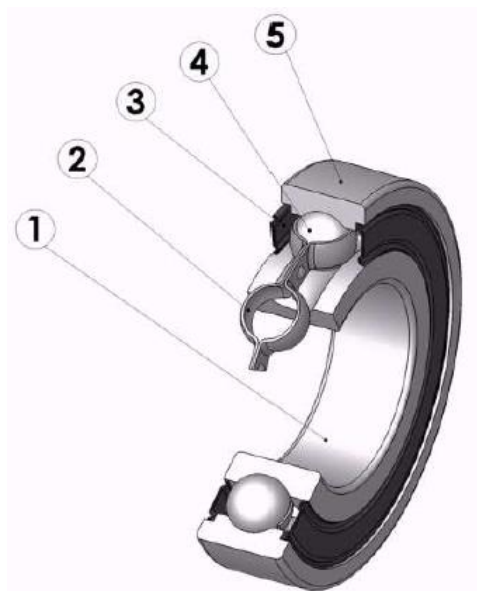
1.2.2 Valivé ložiská

Najznámejšiu skupinu ložísk tvoria práve valivé ložiská. Sú to časti strojov, ktoré takisto umožňujú a výrazne uľahčujú pohyb (hlavne rotačný).

Princíp ich činnosti spočíva v odvaľovaní valivých teliesok medzi vonkajším a vnútorným krúžkom. Môžu to byť guľky, valčeky, súdky, ihly a pod. Práve prostredníctvom nich sa deje prevod šmykového trenia na valenie.

Tieto valivé telieska sa odvaľujú takmer bez sklzu. Zaujímavosťou je fakt, že prevádzkové trenie valivého ložiska je dvakrát menšie ako jeho rozbehové. Stále je však toto rozbehové trenie oveľa menšie ako u ložiska klzného. Veľkosť prevádzkového trenia u valivých ložísk súvisí s ich zaťažením, rýchlosťou a pracovnou viskozitou maziva [14]. Je rádovo desať násobne menšie ako pri prevádzke klzných ložísk [11].

Ich konštrukcia je trochu komplikovanejšia ako u klzných ložísk. Skladajú sa z viacerých častí. Na obrázku 13 je znázornená typická konfigurácia. Medzi vnútorným krúžkom a vonkajším krúžkom sú umiestnené valivé telieska. Rovnomerné rozmiestnenie valivých teliesok zabezpečuje tzv. klieťka. Niekedy sa u klzných ložísk používa aj krytie. To zabráňuje vstupu nečistôt medzi funkčné plochy ložiska.



Obr. 13 Typická konfigurácia valivého ložiska (1 – vnútorný krúžok; 2 – klieťka; 3 – krytie; 4 – valivé telieska; 5 – vonkajší krúžok) [11].

Medzi ich hlavné výhody patria [11]:

- malý súčiniteľ trenia (malé straty výkonu),
- ľahký rozbeh,
- malá spotreba maziva,
- jednoduchá údržba,
- široké spektrum typov,
- nepotrebnosť zabehávania,
- pokrytie širokej oblasti zaťaženia, teplôt, rýchlostí a rozmerov,
- spoľahlivosť,
- malé zahrievanie a opotrebovávanie,

- veľká časť z nich je normalizovaná.

Medzi ich nevýhody je možné zaradiť [11]:

- náchylnosť na nečistoty,
- zložitejšia montáž, oprava a výroba,
- väčšina z nich je drahšia ako klzné ložiská.

Valivé ložiská sa delia podľa troch hlavných kritérií. Prvým z nich je druh prenášaného zaťaženia (toto rozdelenie je rovnaké ako u klzných ložísk):

- **radiálne,**
- **axiálne,**
- **radiálne-axiálne.**

Druhým hlavným kritériom, podľa ktorého sa rozdeľujú valivé ložiská je tvar valivých teliesok:

- **guľkové** (bodový styk) – valivými telieskami sú guľky,
- **valčekové** (čiarový styk) – valivými telieskami sú valčeky, ihly, súdky či kuželíky.

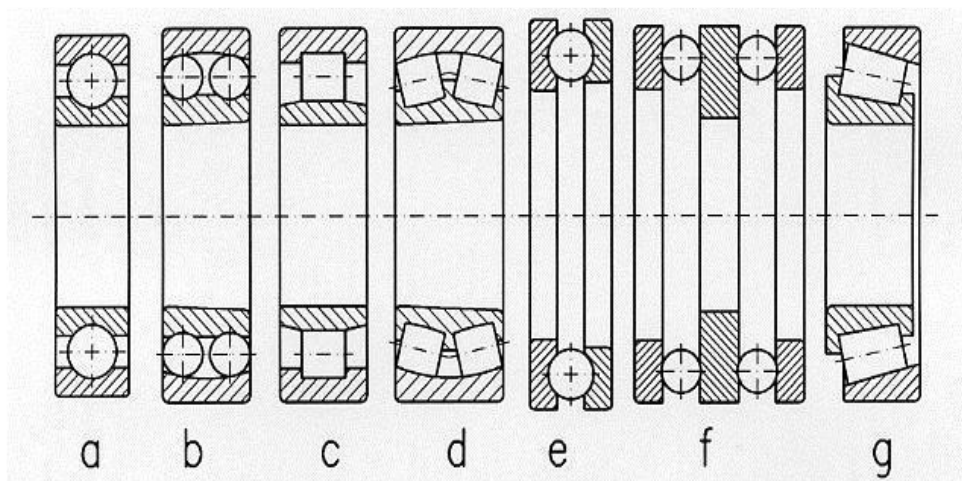
Posledným hlavným kritériom je počet skupín valivých teliesok medzi krúžkami:

- **jednoradové,**
- **dvojradowé,**
- **viacradové.**

Valivé ložiská je možné rozdeliť aj podľa typu kletky, kde sú umiestnené valivé telieska [13]:

- plechové kletky (vyrobená z hlbokotlačnej alebo austenitickej ocele),
- masívna (vyrobená z ocele, mosadze, bronzu, ľahkej zliatiny alebo polyméru),
- čapová

Vzhľadom na rozsiahlosť typov valivých ložísk, budú sa v tejto práci podrobnejšie popisovať iba vybrané typy. Na obrázku 14 je znázornených niekoľko základných typov ložísk s bodovým aj čiarovým stykom.



Obr. 14 Niektoré typy valivých ložísk [13]: a) jednoradové guľkové, b) dvojradové guľkové naklápacie, c) jednoradové valčekové, d) dvojradové súdkové naklápacie, e) axiálne jednoradové guľkové, f) axiálne dvojradové guľkové, g) jednoradové kuželíkové.

Jednoradové guľkové ložiská

Najbežnejším predstaviteľom valivých ložísk sú práve tieto ložiská. Majú veľmi jednoduchú konštrukciu. Používajú sa hlavne v jednoduchších uloženiach. Sú použiteľné pre široký rozsah rýchlostí. Pre ich hlboké obežné dráhy v krúžkoch, majú dobrú únosnosť v radiálnom aj axiálnom smere [7]. Nie sú vhodné pre vyrovnávanie nesúsovosti. V takomto uložení dochádza k priehybu hriadeľa, čo by po krátkom čase spôsobilo poškodenie [14].

Dvojradové guľkové naklápacie ložiská

Ich vonkajšia obežná dráha má guľový tvar, preto je možné ich naklopenie (obr. 15). Používajú sa hlavne v prípadoch väčšej nesúsovosti, veľkej vzájomnej vzdialenosti ložísk alebo kmitaní hriadeľa s väčším zaťažením [7].



Obr. 15 Ukážka naklopenia dvojradového guľkového ložiska [20].

Jednoradové valčkové ložiská

Patria medzi ložiská s čiarovým stykom. Aj preto sú schopné preniesť zaťaženie až o 60 % väčšie ako rovnako veľké guľkové ložiská. Z hľadiska tuhosti, sú vhodné aj pre premenlivé rázové zaťaženia. Ich krúžky môžu byť vyhotovené vo viacerých variantoch. Napríklad krúžok bez prírub neumožňuje danému ložisku prenášať axiálne zaťaženie, avšak krúžky sa môžu vzájomne posúvať. To je výhodné pre kompenzovanie dĺžkových zmien hriadeľov, ktoré môžu byť spôsobené zmenou teploty [7].

Dvojradowé súdkové naklápacie ložiská

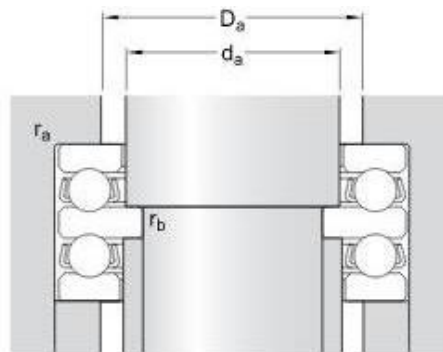
Zachytávajú veľké radiálne aj axiálne zaťaženie (v oboch smeroch). Podobne ako dvojradowé guľkové naklápacie ložiská, guľová obežná dráha im umožňuje naklopenie. Sú vhodné pre menšie výkyvy hriadeľa aj pre vyrovnanie nesúosovosti. Použitie nachádzajú napr. v uložení valcov valcovacích stolíc alebo v nápravách koľajových vozidiel [21].

Axiálne jednoradowé guľkové ložiská

Môžu prenášať axiálne zaťaženie iba v jednom smere, preto sa často nazývajú jednosmerné. Bývajú uložené na rovinných plochách. Uloženie by malo zabezpečovať rovnomerné zaťaženie valivých teliesok. Tieto ložiská neprenášajú radiálne zaťaženie [22].

Axiálne dvojradowé guľkové ložiská

Prenášajú axiálne zaťaženie v oboch smeroch. Často sa nazývajú obojsmerné. Sú zložené z jedného hriadeľového krúžku a dvoch telesových. Hriadeľový krúžok sa pripevňuje na hriadeľ. Príklad uloženia tohto ložiska je znázornený na obrázku 16. Podobne ako axiálne jednoradowé guľkové ložiská, tieto ložiská neprenášajú radiálne zaťaženie [22].



Obr. 16 Príklad uloženia axiálneho dvojradowého guľkového ložiska [23].

Jednoradowé kuželíkové ložiská

Tieto ložiská kombinujú pozitívne vlastnosti valčkových a guľkových ložísk. Výborne odolávajú radiálnemu aj axiálnemu zaťaženiu, pričom majú rovnako vysokú únosnosť ako valčkové ložiská [14]. Veľmi často sa používa uloženie hriadeľa do dvojice týchto ložísk, otočených oproti sebe. Vtedy je dvojica schopná preniesť axiálne zaťaženie v oboch smeroch [7].

Dominantným režimom mazania u valivých ložísk je **elastohydrodynamické mazanie**. Princíp tvorby mazacieho filmu spočíva vo vtáhovaní maziva medzi odďaľujúce sa povrchy [14].

Na materiály valivých ložísk sú takisto kladené veľmi vysoké požiadavky. Ide predovšetkým o požiadavky metalurgické a technologické (viď kapitola 2). Vo väčšine prípadov sa pre výrobu používajú konštrukčné, nadeutektoidné, chrómové ocele. Obsah uhlíka majú približne 1 % a obsah chrómu okolo 1,5 %. Typickými predstaviteľmi týchto ocelí sú : 100Cr6 alebo 100CrMnSi6-4. Používajú sa však aj ocele vhodné pre vyššie teploty (napr. 80MoCrV42-16), koróziivzdorné ocele (napr. X89CrMoV18-1) alebo ocele pre cementovanie. Značenie uvedených ocelí je podľa normy ČSN EN ISO 683-17. Pre ložiská s väčšími rozmermi sa používajú ocele s pridaným obsahom mangánu a molybdénu (pre zvýšenie prekaliteľnosti). V špeciálnych prípadoch sa pristupuje aj k nekovovým materiálom (keramické materiály, polyméry) [24].

1.2.3 Špeciálne ložiská

Špeciálne ložiská väčšinou tiež pracujú na princípoch klzania alebo valenia. Do tejto kategórie však možno zaradiť tie typy, ktoré sa nejak líšia od ložísk konvenčných. Cieľom tejto práce je popisovať metódy výroby konvenčných ložísk. V mnohých prípadoch sa však tieto metódy využívajú aj pre špeciálne ložiská.

Ako prvé je možno zaradiť do tejto skupiny jednoúčelové ložiská. Sú vyrábané iba pre jednu konkrétnu aplikáciu. Ich rozmery, tvary, vlastnosti a použité materiály sú prispôbené požiadavkám tejto aplikácie. Vyrábajú sa v malých množstvách (jednotkách kusov). S tým je spojená aj náročnosť výroby a v konečnom dôsledku aj ich výrobná cena.

Ďalej je do skupiny špeciálnych ložísk možno zaradiť typy vyrobené zo špeciálneho materiálu, s použitím nekonvenčného maziva, pracujúce na nekonvenčných princípoch a pod.

Príklady špeciálnych ložísk [14]:

- hybridné valivé ložiská (valivé telieska vyrobené z konštrukčnej keramiky Si_3N_4) pre vysoké rýchlosti,
- ložiská s pružnými valčekmi,
- guľčkové vedenia (pre rotačný alebo posuvný pohyb, prípadne ich kombináciu),
- veľmi presné prístrojové ložiská (vyrobené z nehrdzavejúcej alebo žiarupeznej ocele),
- magnetické ložiská,
- vzduchové ložiská (aerostatické alebo aerodynamické),
- ložiská pre otočné mosty,
- ložiská pre uloženie lodných skrutiek.

2 POŽIADVKY KLADENÉ NA VÝROBU LOŽÍSK

Od ložísk často priamo závisí správny chod strojov. Preto je potrebné ich výrobe venovať patričnú pozornosť. Táto kapitola je venovaná kratšiemu všeobecnému prehľadu požiadaviek, ktoré by klzné aj valivé ložiská mali splňovať.

2.1 Presnosť výroby

Rozmerová presnosť a geometrická presnosť patria medzi základné požiadavky v strojárskkej výrobe. Ložiská patria vo všeobecnosti medzi presnejšie výrobky ako väčšina častí strojov. Presnosť ich výroby úzko súvisí so správnym chodom. Na presnosť výroby vplýva množstvo aspektov. Medzi tie hlavné patrí voľba technologického postupu (použitie technológií, stroje a podmienky procesu) a kontrola kvality.

Výrobcovia ložísk svoj sortiment väčšinou delia na dve alebo viac skupín:

- výrobky so základnou presnosťou (sú vhodné pre väčšinu aplikácií)
- výrobky s vyššou presnosťou (používajú sa, ak je požadovaná vyššia presnosť chodu, napr. vretená obrábacích strojov [25])

Z hľadiska náročnosti na presnosť výroby, sú jednoznačne valivé ložiská výrobne zložitejšie ako klzné.

S vyššími nárokmi na presnosť rastie aj výrobná cena. Presnosť výroby by teda mala byť úmerná použitiu ložiska – požadovanej presnosti chodu.

Drsnosť povrchu

O fakte, že ložiská patria medzi presnejšiu strojársku výrobu, svedčia aj drsnosti ich plôch. Aj tu platí úmernosť medzi hodnotou drsnosti (parameter R_a) a funkciou danej plochy. V tabuľke 2.1 je možné vidieť vzťah medzi hodnotou R_a a funkciou plochy.

Tab. 2.1 Hodnoty Ra pre jednotlivé druhy plôch [7].

Ra	Použitie
0,025	plochy s požiadavkami minimálneho opotrebenia – funkčné plochy valivých ložísk, klzné plochy s veľkou klznou rýchlosťou a veľkým tlakom
0,05	veľmi presné funkčné plochy s malým opotrebením – napr. aj funkčné plochy valivých ložísk
0,1	klzné plochy hriadeľov pre presné uloženia s malou vôľou, funkčné plochy valivých ložísk
0,2	klzné plochy šmykádiel a presných ložiskových puzdier
0,4	klzné plochy so strednou klznou rýchlosťou a stredným tlakom, úložné plochy valivých ložísk pre presnejšie uloženia
0,8	klzné plochy s menšou klznou rýchlosťou, úložné plochy valivých ložísk pre presnejšie uloženia
1,6	klzné plochy hriadeľov a ložísk s občasným alebo ručným pohybom, úložné plochy valivých ložísk
3,2	klzné plochy s veľmi malou klznou rýchlosťou, kde sa nepožaduje presnosť uloženia, úložné plochy valivých ložísk

2.2 Vlastnosti materiálu

Vlastnosti ložiskových materiálov sú rovnako ako presnosť výroby, dôležitým aspektom pre správny a spoľahlivý chod. Používanie ložísk je spojené so širokým spektrom požiadaviek na materiály. Každý materiál má svoje pozitíva aj negatíva. Je potrebné pristúpiť ku kompromisu vlastností, aby boli požiadavky použitia ložiska pokryté v maximálnej možnej miere.

2.2.1 Vlastnosti materiálov klzných ložísk

Požadované vlastnosti materiálov klzných ložísk [15]:

- technologické vlastnosti (vhodnosť materiálu pre danú technológiu výroby),
- nízky súčiniteľ čapového trenia,
- priaznivá kombinácia mechanických vlastností (tvrdosť, pevnosť a húževnatosť),
- teplotná stabilita,
- schopnosť odvodu tepla,
- odolnosť voči opotrebeniu,
- odolnosť voči korózii,
- schopnosť pohlcovania tvrdých častíc,
- schopnosť udržania vrstvy maziva,

- mazacia schopnosť (platí pre bezmazné a samomazné materiály).

2.2.2 Vlastnosti materiálov valivých ložísk

Požadované vlastnosti materiálov valivých ložísk:

- mikročistota (obsah nekovových inklúzií – majú negatívny vplyv na akosť ložiskovej ocele) [24],
- makroštruktúra (hutnosť ocele a smer vlákien výrazne súvisia s trvanlivosťou ložiska, pričom najlepšie výsledky sú dosahované v prípade vyššieho stupňa pretvárania ocelí a rovnobežnosti smeru vlákien s obežnými dráhami u ložiskových krúžkov) [24],
- mikroštruktúra (karbidická nerovnorodosť, ktorá zhoršuje akosť ložiskovej ocele) [24],
- technologické vlastnosti (tvárnosť, vhodnosť k tepelnému alebo chemicko-tepelnému spracovaniu, obrábiteľnosť a pod.),
- teplotná stabilita,
- priaznivá kombinácia mechanických vlastností (tvrdosť, pevnosť a húževnatosť),
- odolnosť voči opotrebeniu (predovšetkým voči únavovému opotrebeniu – pittingu),
- odolnosť voči korózii.

2.3 Ostatné požiadavky

Súvisia hlavne s výstupnými operáciami pri výrobe ložísk:

- medzioperačná aj výstupná kontrola kvality výroby (kontrola tvarov a rozmerov, akustická kontrola a pod.),
- čistenie výrobku – zbavenie výrobných nečistôt,
- plynulá montáž, bez nebezpečných nárazov (týka sa valivých ložísk),
- konzervácia výrobku – ochrana proti korózii,
- požiadavka dôkladného zabalenia hotového výrobku – ochrana proti poškodeniu nárazmi, nečistotám a pod.

3 METÓDY VÝROBY LOŽÍSK

Táto kapitola tvorí hlavnú časť tejto práce. Jej obsahom je prehľad výrobných metód klzných a valivých ložísk. Jedná sa o veľmi širokú problematiku. Je v nej prítomná väčšina odvetví strojárkej výroby (obrábanie, odlievania, tvárnenie, prášková metalurgia a iné). Vo väčšine prípadov výroby ložísk sa jedná o sériovú až hromadnú výrobu – výroby s vysokým stupňom automatizácie. Pri týchto výrobách sa aj minimálne množstvo ušetreného materiálu alebo ušetrená výrobná operácia veľmi významne premieta do výrobných nákladov.

3.1 Metódy výroby klzných ložísk

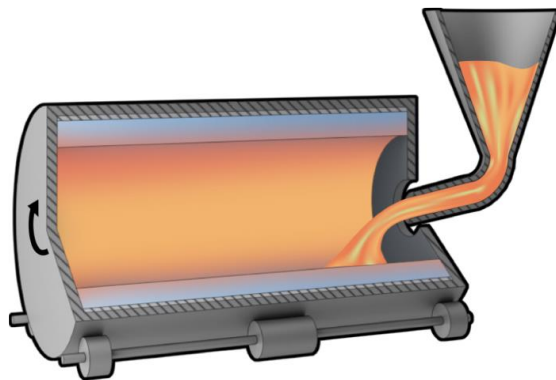
3.1.1 Výroba klzných ložísk technológiou odlievania

Technológia odlievania má v strojárkej výrobe nezastupiteľnú úlohu. Vyniká hlavne efektívnosťou využitia materiálu. Je pomerne univerzálna, dajú sa prostredníctvom nej zhotovovať rozličné tvary výrobkov rôznych veľkostí. Spektrum materiálov, vhodných pre odlievania je taktiež veľmi široké. Pre výrobu klzných ložísk sa spravidla používajú materiály, ktorých cena je vyššia. Ak by väčšiu časť z hotového výrobku tvoril odpad, výroba by bola neekonomická. Preto je odlievania vyžívanou technológiou aj pri výrobe klzných ložísk.

Technológia odstredivého liatia

Ide o najvyužívanejšiu technológiu výroby ložiskových puzdier z oblasti odlievania. Zhotovujú sa ňou rotačne symetrické duté telesá – klzné puzdrá, bezšvové rúry a pod.

Odlievania prebieha za zvýšených síl. Princíp je znázornený na obr. 17. Tekutý kov je postupne nalievajú do rotujúcej železnej formy. Otáčky formy sa pohybujú v rozsahu 250-3600 min⁻¹. Pred samotným procesom je potrebné plochy formy pokryť vrstvou prípravku (zvyčajne na báze keramiky), aby nedošlo k spojeniu s odliatkom. Vzniknutou odstredivou silou je tekutý kov tlačенý na steny formy. Nežiaduce častice v tavenine (nečistoty, bubliny a pod.) majú nižšiu hustotu ako odlievajúci kov a preto sú vytlačované smerom k osi rotácie – tvoria vnútornú stenu odliatku. Tieto nečistoty sú po stuhnutí odliatku odstránené dokončovacími metódami [26]. Výsledkom je dokonalé vyplnenie tvaru formy. Výrobky (obr. 18) sú geometricky pomerne presné, majú rovnomernú hrúbku steny, homogénnu štruktúru a dobré mechanické vlastnosti.



Obr. 17 Princíp odstredivého liatia [26].

Výhody [26]:

- jednoduchá výroba dutých odliatkov,
- nenáročná výroba formy (nevyžaduje modely, jadrá, formovacie zmesi, náliatky a pod.),
- variabilita dĺžok odliatkov,
- variabilita hrúbky stien,
- minimalizácia nečistôt v kove,
- vysoká produktivita.

Nevýhody [26]:

- horšia kvalita vnútornej plochy odliatku – nutnosť dokončovania trieskovým obrábaním,
- nevhodnosť pre zložitejšie tvary,
- požiadavka kvalifikovanej obsluhy,
- obmedzený výber materiálov pre túto technológiu.



Obr. 18 Klzné ložiská z masívneho bronzu, zhotovené technológiou odstredivého liatia [27].

Výroba bimetalických puzdier pomocou odstredivého liatia

Technológia odstredivého liatia je vhodná aj pre výrobu bimetalických klzných ložísk. V tomto prípade sa však odstredivé liatie využíva iba na vytvorenie tenkej vrstvy (desatiny až jednotky milimetrov) klzného materiálu – výstelky, na povrch pripraveného polotovaru, ktorý je vyrobený z iného materiálu ako výstelka. Vstupným materiálom (polotovarom) bývajú spravidla oceľové puzdrá. Materiálom klznej vrstvy týchto puzdier býva vo väčšine prípadov olovený bronz.

Princíp je rovnaký ako pri klasickom odstredivom liatí. Ešte pred samotným procesom je však nutné upraviť plochu pod budúcou vrstvou na oceľovom puzdre. Upravuje sa náterom alebo ponorom do roztoku (zvyčajne na báze cínu a olova), pre ideálne spojenie oboch materiálov. Následne je oceľové puzdro vložené do rotačného zariadenia. Klzný materiál je postupne dovnútra nalievajú a vplyvom odstredivých síl dochádza k vytvoreniu novej rovnomernej vrstvy. Po ukončení procesu nasleduje dokončovanie výrobku trieskovým obrábaním. Ukážka bimetalického puzdra, ktoré je vyrobené touto metódou je na obr. 19 [28].



Obr. 19 Bimetalické puzdro [29].

Výhody:

- spojenie výhod oboch materiálov (ocel' – mechanické vlastnosti ako pevnosť a húževnatosť, výstelka – klzné vlastnosti),
- jednoduchosť,
- vysoká produktivita.

Nevýhody:

- nutnosť dokončovania trieskovým obrábaním,
- nevhodnosť pre zložitejšie tvary,
- obmedzený výber materiálov pre túto technológiu.

3.1.2 Výroba klzných ložísk technológiou obrábania

Technológia obrábania tvorí neodmysliteľnú súčasť strojárskej výroby. Výnimkou nie je ani oblasť výroby klzných ložísk. Uplatnenie nachádza hlavne v postupoch výroby, kde obrobenej časť hotového výrobku netvorí väčšiu časť z pôvodného polotovaru.

Sústruženie, frézovanie, vŕtanie, prípadne brúsenie patria medzi základné operácie trieskového obrábania. Materiál obrobku je odoberaný nástrojom, v trieskovej forme. Sústružením sa zhotovujú valcové alebo iné rotačné plochy (vonkajšie alebo vnútorné plochy puzdier). Ukážka sústruženého puzdra je na obr. 20. Frézovanie sa používa na rovinné alebo rôzne iné tvarové plochy. Vŕtanie predovšetkým na zhotovovanie otvorov. Frézovanie a vŕtanie sa v procesoch výroby klzných ložísk dobre uplatňujú na výrobu rôznych mazacích drážok. Ďalším príkladom využitia technológie obrábania sú klzné puzdrá s grafitovými hniezdami (obr. 21).



Obr. 20 Sústružené ložiskové puzdro [30].



Obr. 21 Klzné puzdrá s grafitovými hniezdami [31].

Technológia obrábania je výhodná svojou jednoduchosťou, veľmi dobrou kvalitou obrobeného povrchu a širokým spektrom obrábatelných materiálov. Je použiteľná pre výrobu klzných puzdier v kusovej alebo malosériovej výrobe, výrobu jednoduchších puzdier s menšími rozmermi alebo výrobu hriadeľov (ako súčastí klzných ložísk). Pre kompletnú výrobu rozmernejších puzdier je táto metóda neekonomická, pretože väčšinu hotového výrobku by v prípade jej použitia tvoril odpad vo forme triesky. Preto táto metóda nie je výhodná pre sériovú výrobu a najčastejšie sa nahrádza práve technológiou odlievania. Hranica, kedy je ešte výhodné použiť túto metódu je individuálna. Záleží od konkrétneho výrobku a počtu vyrábaných kusov. Veľmi efektívnou a používanou výrobou je kombinácia odlievania a následného trieskového obrábania.

3.1.3 Výroba klzných ložísk pomocou práškovej metalurgie

Ide o odvetvie strojárkej výroby, kde vstup do výroby tvoria polotovary vo forme kovových práškov. Výrobky dostávajú svoj konečný tvar pôsobením tlaku a zvýšenej teploty.

Výhody práškovej metalurgie [32]:

- možnosť výroby poréznych materiálov,
- vytváranie kombinácií materiálov, ktoré sa inými technológiami nedajú spojiť,
- dosahovaná čistota materiálov,
- presné chemické zloženie,
- hospodárnosť.

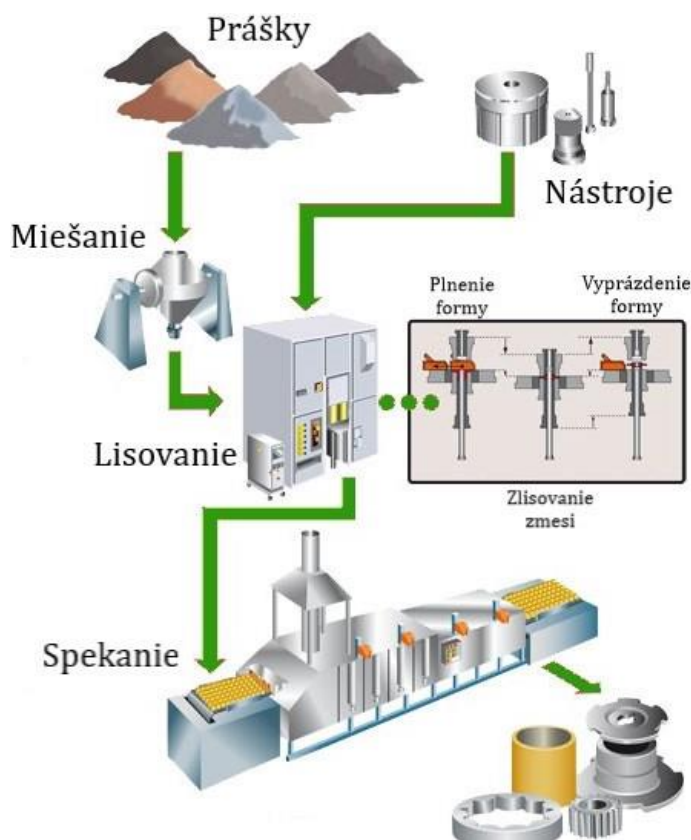
Nevýhody práškovej metalurgie [32]:

- nižšie mechanické vlastnosti výrobkov – pevnosť a húževnatosť,
- vysoká cena strojov.

Postup operácií pri výrobe pomocou práškovej metalurgie (obr. 22):

- výroba práškov,
- príprava zmesi práškov,

- lisovanie práškov,
- spekanie práškov,
- výstupné operácie (obrábanie, povlakovanie a pod.).



Obr. 22 Schéma procesu práškovej metalurgie [33].

Výrobou práškov celý proces začína. Existuje viacero spôsobov ich výroby [32]:

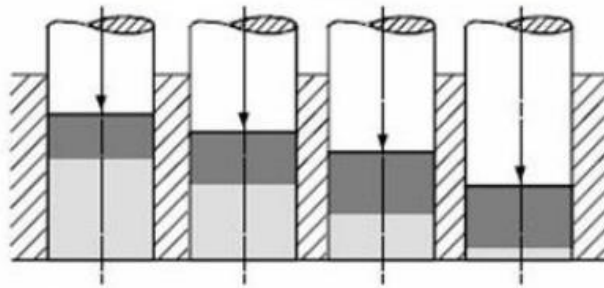
- výroba pomocou mletia a drvenia,
- výroba pomocou rozprašovania kovu v tekutej forme do vody alebo do vzduchu,
- výroba kondenzáciou pár,
- výroba chemickým procesom redukcie rúd.

Príprava práškov je pokračovaním výroby práškov. Jej cieľom je vytvorenie požadovanej zmesi vstupujúcej do procesu lisovania. Prípravou sa rozumie [32]:

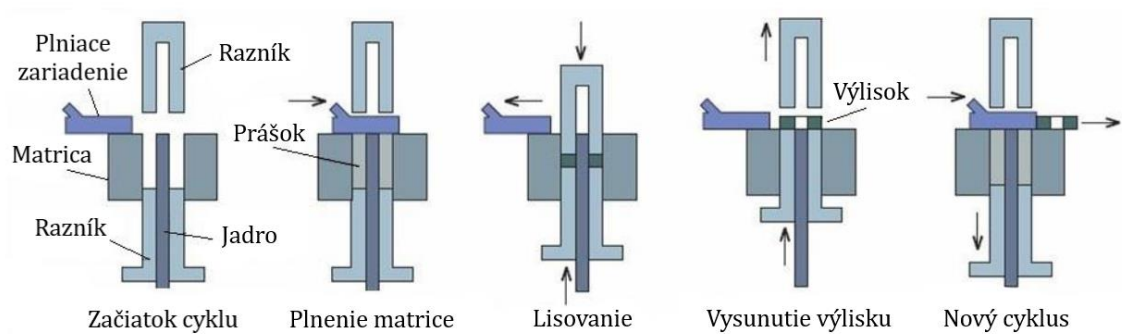
- úprava po výrobe rozprašovaním do vody – sušenie práškov,
- úprava po výrobe rozprašovaním do vzduchu – redukcia práškov,
- veľkostné roztriedenie práškov,
- zmiešavanie práškov do zmesi, ktorá vstupuje do lisovania.

Po zmiešaní práškov podľa požadovaného zloženia výrobku nasleduje samotný proces tvárnenia – lisovanie. Pri lisovaní dostáva prášok tvar výrobku. Rozsah používaných tlakov sa pohybuje v rozmedzí od 200 do 2000 MPa, v závislosti od spôsobu lisovania, veľkosti a tvaru výrobku alebo druhu lisovacieho nástroja. Existuje viacero spôsobov lisovania:

- lisovanie lineárnym pohybom – jednosmerné (obr. 23) alebo obojsmerné (obr. 24),

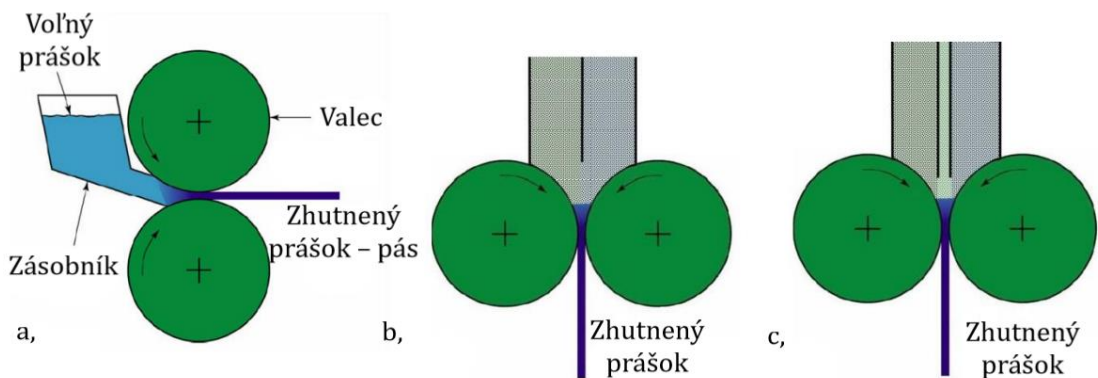


Obr. 23 Jednosmerné lisovanie práškov [34].



Obr. 24 Obojsmerné lisovanie práškov [34].

- lisovanie rotačným pohybom – valcovanie (obr. 25),



Obr. 25 Valcovanie práškov [34]: a) horizontálne usporiadanie valcov, b) vertikálne usporiadanie valcov (výroba bimetalu), c) vertikálne usporiadanie valcov (výroba trimetalu).

- ďalšie spôsoby lisovania – pretlačovanie, izostatické lisovanie, kovanie práškov, lisovanie explóziou, injekčné vstrekovanie kovov a pod.

Najjednoduchším variantom je jednosmerné lineárne lisovanie. Používa sa pre výrobky menších rozmerov a pre ľahšie lisovateľné prášky. Je to z dôvodu slabého zhutnenia výrobku vo vzdialenej časti od nástroja. Výhodnejšie je obojsmerné lisovanie. Zaisťuje

lepšie rozloženie spevnenia a umožňuje rýchlejší proces výmeny materiálu vo forme. Používa sa častejšie. Pre výrobu klzných materiálov dobre slúži aj metóda valcovania. Zhutňovanie práškov je spôsobené tlakom otáčajúcich sa valcov – valcovacími stolicami. Výrobky valcovania práškov sú plechy alebo pásy. Môžu byť z jedného materiálu, bimetalické alebo trimetalické. Pomocou podobného princípu sa taktiež dajú nanášať rôzne druhy vrstiev na povrchy polotovarov (prevažne vo forme plechových pásov) [32, 34].

Výrobok po lisovaní má však veľmi zlé mechanické vlastnosti (je takmer nepoužiteľný). Preto po lisovaní nasleduje spekanie. Je to tepelný proces, ktorého cieľom je vytvorenie kompaktného celku s výrazne lepšími mechanickými vlastnosťami, ako po lisovaní.

Spekanie môže byť vykonávané viacerými spôsobmi:

- jednozložkové zmesi – spekajú sa pri teplote 0,6 až 0,7 teploty tavenia daného materiálu (zlučovanie častíc zabezpečuje difúzia),
- viaczložkové zmesi – spekajú sa pri teplote blízkej teplote tavenia zložky, ktorá má najnižšiu teplotu tavenia (zlučovanie častíc zabezpečuje zmáčanie tuhých častíc kvapalnou fázou alebo difúzia),
- v prípade zmesí, ktoré ľahko podliehajú oxidácii sa používa spekanie v ochrannej atmosfére alebo vo vákuu [32, 34].

Ako posledné nasledujú dokončovacie operácie. Môže ísť napr. o obrábanie, vytváranie povlaku alebo sýtenie výrobkov olejom. Práve u klzných ložísk je sýtenie kľúčová operácia. Princíp je jednoduchý. Výrobky sa vložia do komory s vákuom. Po odstránení vzduchu z pórov je do komory privedený olej, ktorý následne póry opätovne zaplní. Celý proces je podobný namočeniu suchej špongie do vody [28]. Olejom sýtené klzné ložiská tvoria približne 70 % z výroby ložísk práškovou metalurgiou. Ich póry, ktoré sú nasýtené olejom tvoria 15 až 30 % z celkového objemu. Ich hlavné výhody sú: nevyžadujú údržbu mazaním, majú veľmi dobré klzné vlastnosti pri takmer nulových klzných rýchlostiach, dajú sa použiť v naklonených alebo vertikálnych polohách a pod. [34].

Prášková metalurgia je mimoriadne vhodná technológia pre výrobu klzných ložísk. Lisovanie práškov sa používa predovšetkým pre masívnejšie a olejom sýtené klzné ložiská (obr. 26 a obr. 6a). Valcovanie práškov v oblasti klzných ložísk používa na výrobu pásov s požadovanými vrstvami a vlastnosťami. Tieto pásy sa v ďalších operáciách formujú do požadovaného valcového tvaru puzdra. Ide o tzv. zakružované klzné puzdrá. Príklady týchto ložísk sú na obr. 11 a obr. 27.



Obr. 26 Olejom sýtené klzné puzdro vyrobené práškovou metalurgiou [35].



Obr. 27 Klzné ložíská na báze kov-PTFE [34].

3.1.4 Ostatné technológie výroby klzných ložísk

Nekovové materiály klzných ložísk sa dostávajú stále viac a viac do popredia. Ide predovšetkým o plasty. K ich voľbe sa pristupuje pre ich koróziivzdornosť a možnosť použitia aj v potravinárskom priemysle. Väčšina z nich má samomazné vlastnosti a vysokú teplotnú odolnosť. Najvýznamnejším predstaviteľom týchto materiálov je PTFE – teflón. Medzi ďalšie patria: PPS, PEEK a PA [16].

Injekčné vstrekovanie

Injekčné vstrekovanie je najbežnejší spôsob výroby plastových výrobkov. Výrobky tejto metódy sú prevažne tenkostenného charakteru. Majú veľkú variabilitu z hľadiska veľkosti, tvarov a použitia. Schéma zariadenia pre injekčné vstrekovanie je na obr. 28. Proces výroby sa skladá z nasledujúcich krokov.

- Uzatvorenie formy – je riadené uzatváracou jednotkou, ktorá ovláda pohyblivú časť formy. Pevná časť formy je pripevnená k stroju. Uzatvorenie musí byť dostatočne pevné, presné a v požadovanom čase.
- Vyplnenie formy – je riadené plniacou jednotkou. Vstupná nádoba, ktorá je naplnená granulovaným materiálom zásobuje plniacu jednotku. V tej sa tento materiál pôsobením tepla a tlaku rozstaví. Následne je cez trysku, v požadovanom čase a množstve vstreknutý do dutiny formy.
- Chladnutie – začína pri kontakte vstrekutej hmoty so stenami formy. Pri tuhnutí výrobku môže nastať jeho stiahnutie. Planiaca jednotka však umožňuje aj dodatočné vyplnenie formy, takže je možno tento negatívny jav minimalizovať. Chladnutie končí po uplynutí stanovanej doby chladnutia, ktorá závisí na termodynamických vlastnostiach vstrekovateľného materiálu a hrúbke steny výrobku.
- Vyprázdnenie formy – je vykonávané prídavným zariadením, ktorého pôsobením je výrobok vytlačený z formy po jej otvorení. Môže nasledovať prečistenie formy napr. stlačeným vzduchom a celý proces sa opakuje [36].

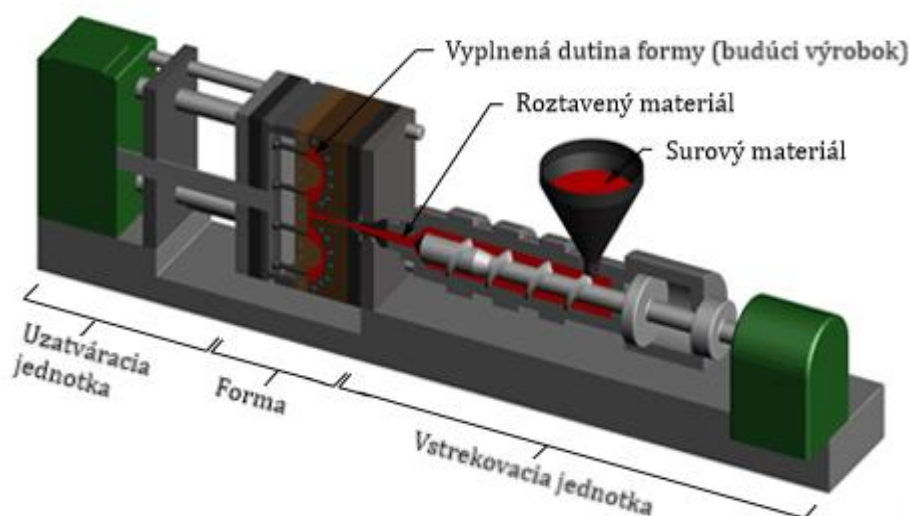
Výhody [36]:

- možnosť výroby komplikovaných tvarov,
- kvalita povrchu,

- rozmerová a geometrická presnosť,
- vysoká produktivita,
- množstvo odpadu,
- možnosť použitia väčšiny polymérov (vrátane vhodných druhov pre klzné puzdrá).

Nevýhody [36]:

- obmedzená hrúbka steny výrobku,
- vysoká cena stroja a nástrojov,
- dlhá doba rozbehu,
- nutnosť dokončovacích operácií (orezávanie, brúsenie, strihanie a pod.).



Obr. 28 Zariadenie pre injekčné vstrekovanie [36].

3D tlač

Ide o technológiu, ktorá sa postupom času čoraz viac dostáva do popredia. Má všestranné využitie. Okrem strojárstva nachádza využitie napríklad aj v medicíne alebo aj domácich podmienkach. Princíp činnosti spočíva vo veľmi precíznom nanášaní vrstiev v 2D priestore. Čím sú jednotlivé vrstvy tenšie, tým je samotný proces presnejší. Po dokončení jednej vrstvy nasleduje posun o tretiu súradnicu a proces tvorby vrstvy sa opakuje. Vzniká 3D teleso. Existuje viacero druhov 3D tlače.

- FDM – je najpoužívanejší druh. Princíp tvorí tavenie filamentu (termoplastického materiálu pre 3D tlač, najčastejšie vo forme drôtov o priemeroch jednotiek milimetrov, zmotaných do cievky), ktorý je následne pomocou trysky nanášaný do požadovaných vrstiev. Stuhnutím materiálu sa proces tvorby vrstvy končí. Ukážka tohto druhu tlače je na obr. 29.
- SLA – vytvára kvalitnejšie a hladšie povrchy v porovnaní s inými druhmi 3D tlače. Princípom je postupná polymerizácia fotosenzitívnej živice, ktorá nastáva vplyvom žiarenia UV lasera. Stereolitografia má však nevýhody vo forme vysokej ceny zariadenia a materiálov pre tlač.

- SLS – pracuje s práškovými materiálmi. Princíp spočíva v nanosení tenkej vrstvy prášku pomocou zabudovaného valcu, ktorá sa následne speká vysokovýkonným laserom do tuhého skupenstva. Výhodou je možnosť použitia akéhokoľvek materiálu vo forme prášku (kovy, zliatiny, keramika, plasty a pod.)
- Ostatné (DLP, DMLS, LOM a pod.) [37].



Obr. 29 3D tlač puzdra [38].

3.2 Metódy výroby valivých ložísk

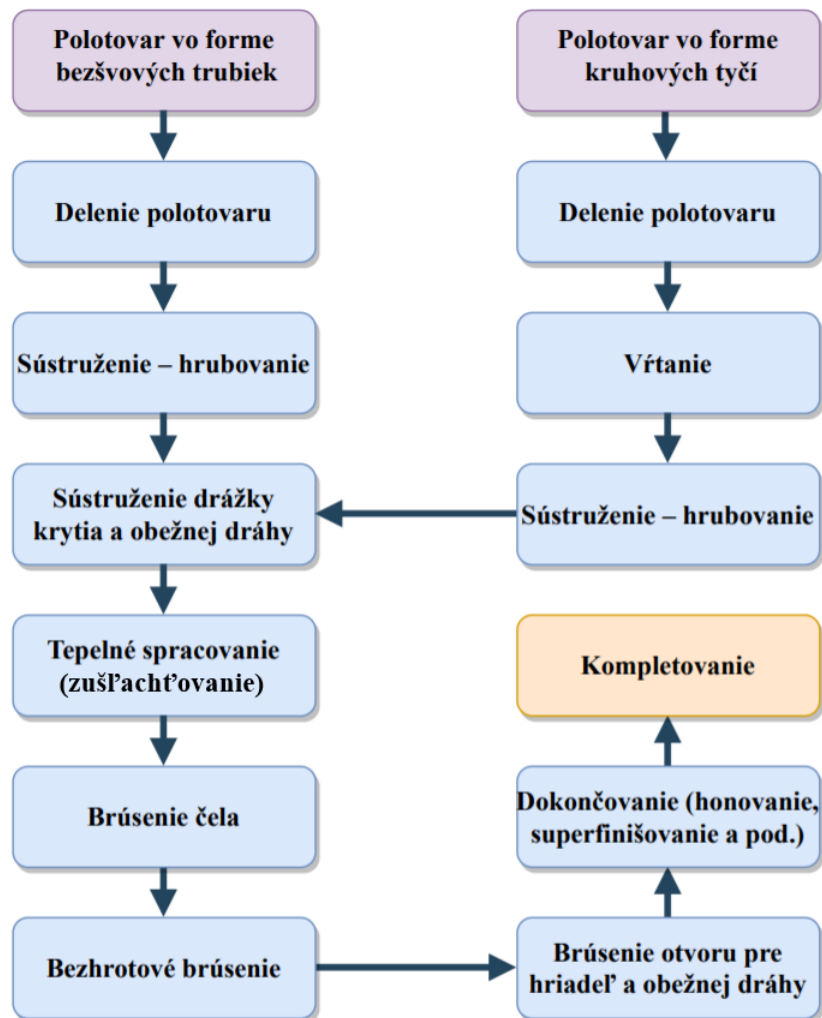
3.2.1 Výroba ložiskových krúžkov

Ako aj pri výrobe ostatných častí strojov, vstupom do výroby ložiskových krúžkov sú polotovary. Polotovary je starostlivo volený podľa rozmerov a tvarov krúžkov príslušného ložiska tak, aby bola výroba čo najviac efektívna a ekonomická. Najvýznamnejšou technológiou vo výrobe ložiskových krúžkov je technológia obrábania. Voľba vstupného polotovaru do procesu obrábania však nie je vždy jednoznačná. Existuje viacero vhodných možností, ktoré sú podrobnejšie popísané nižšie. Po obrobení hrubého tvaru krúžku spravidla nesleduje jeho tepelné spracovanie. Najviac využívaným tepelným spracovaním je kalenie v kombinácii s popúšťaním. Po zušľachtení nasledujú dokončovacie operácie ako brúsenie, honovanie, superfinišovanie a pod.

Výroba ložiskových krúžkov opracovaním kruhových tyčí alebo bezšvových rúr

Najbežnejším postupom pri výrobe ložiskových krúžkov je využitie operácií technológie obrábania (sústruženie, vŕtanie apod.) pre opracovanie polotovarov vo forme samotných kruhových tyčí alebo bezšvových rúr (obr. 31). Bežný sled operácií celej výroby krúžkov je znázornený na obr. 30 (sled sa môže v jednotlivých výrobách líšiť). Okrem rozmerov prierečného prierezu je u tyčí a rúr významným rozmerom aj ich dĺžka (hlavne u sériových a početnejších výrobách). Pri obrábaní týchto polotovarov je zvyčajne dôležitá produktivita výroby. Zabezpečiť sa dá napr. použitím viacvretenových strojov alebo jednoúčelovými tvarovými nástrojmi.

Výhodou týchto polotovarov je ich cena. Značnou nevýhodou je u tyčí ich malý stupeň pretvárania a malé využitie materiálu (využitie sa pohybuje okolo 30 %). Tyče sa teda volia hlavne pre malé priemery krúžkov (rádovo 20-30 mm). Rúry sú pre výrobu krúžkov vhodnejšie. Oproti tyčiam majú väčší stupeň pretvárania a dosahuje sa u nich aj lepšie využitie materiálu (približne 70 %). Problémom tejto výroby krúžkov môže byť trvanlivosť rezných nástrojov (hlavne pri hrubovacích operáciách) [39, 40].



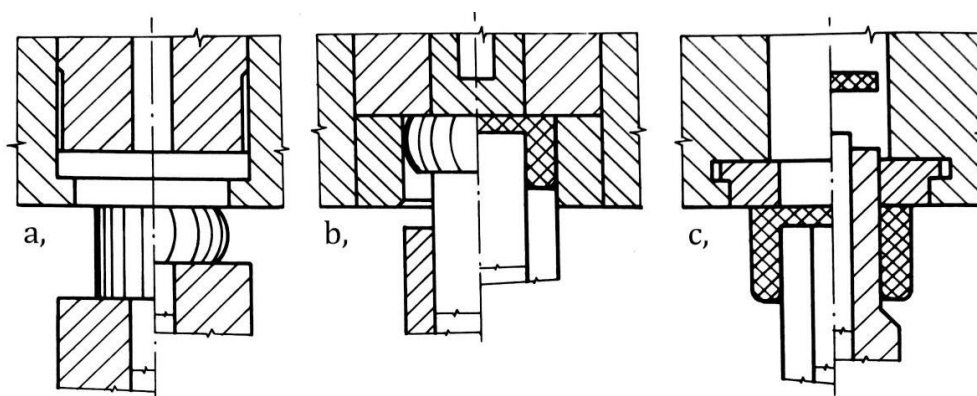
Obr. 30 Bežný postup výroby krúžkov z kruhových tyčí a bezšvových rúr [39].



Obr. 31 Ukážka obrábania vonkajšieho ložiskového krúžku z bezšvovej rúry [41].

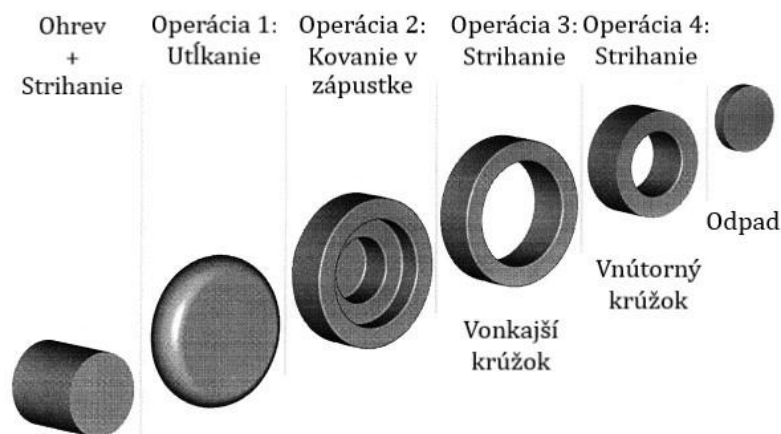
Výroba ložiskových krúžkov kovaním

Oproti predošlému spôsobu výroby ložiskových krúžkov, kovanie predstavuje okrem zvýšenia kvality krúžkov aj zlepšenie hospodárnosti výroby. Vstupom do operácií obrábania sú polotovary vo forme výkovkov. Tento spôsob výroby je vhodný pre veľkosti krúžkov od 20 do 120 mm (vonkajší priemer krúžku). Pre operácie kovania sa najčastejšie používajú automatické kovací linky, ktoré sa skladajú zo zásobníka s podávacím zariadením, priebežnej indukčnej ohrievačky a postupového kovacího lisu. Tyče vložené do zásobníka sú postupne zasúvané do induktora. V ňom sa tyč priebežne ohrieva. Potom tyč vstupuje do lisu, kde sa za pomoci niekoľkých operácií (zvyčajne štyroch) zhotovuje výkovok. Postupový kovací lis vykonáva všetky štyri operácie na jeden zdvih. Príklad výroby krúžku týmto spôsobom je na obr. 32. V tomto prípade idú operácie lisu v tomto slede: odstrihnutie klátika z tyče, utĺkanie klátika, kalíškovanie a vystrihnutie hlavy (odpadu) [40].

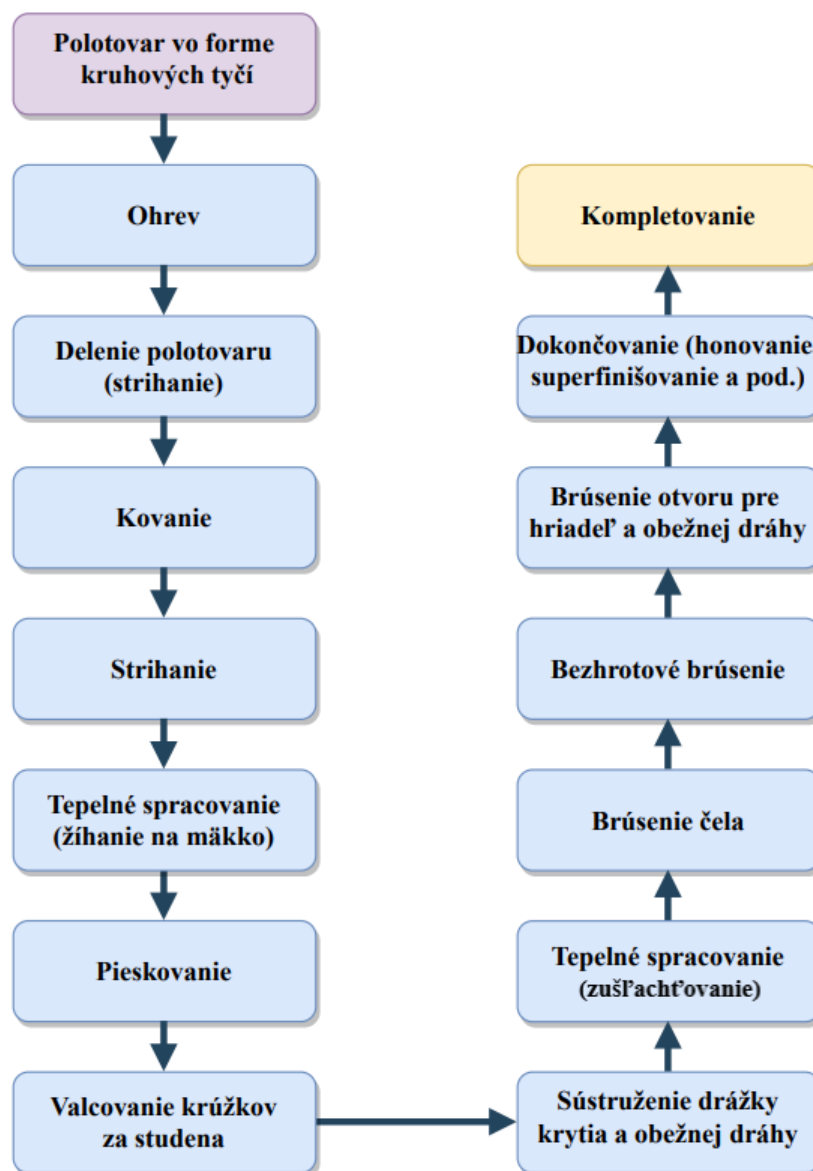


Obr. 32 Výroba ložiskového krúžku na postupovom lise [40]: a) utĺkanie odstrihnutého klátika do voľného priestoru, b) kovanie do uzavretej zápustky, c) vystrihnutie odpadu.

Efektívnejším spôsobom kovania krúžkov je tzv. kovanie vežových výkovkov. Princíp tejto metódy spočíva vo výrobe vonkajšieho aj vnútorného krúžku z jedného výkovku (obr. 33). Výhodami kovania sú predovšetkým využitie materiálu (môže dosahovať až 93 %), vysoká produktivita (až 5000 krúžkov za hodinu) a veľmi priaznivé vlastnosti výkovkov (lepšia makroštruktúra). Problémy tejto metódy súvisia s trvanlivosťou kovacích nástrojov, čo môže spôsobovať zvýšenie výrobných nákladov [39]. Príklad kompletnej výroby krúžkov z vežových výkovkov je na obr. 34.



Obr. 33 Postupné zmeny tvarov vežového výkovku [39].



Obr. 34 Príklad kompletného postupu výroby krúžkov pomocou kovania vežových výkovkov [39].

Výroba ložiskových krúžkov technológiou valcovania

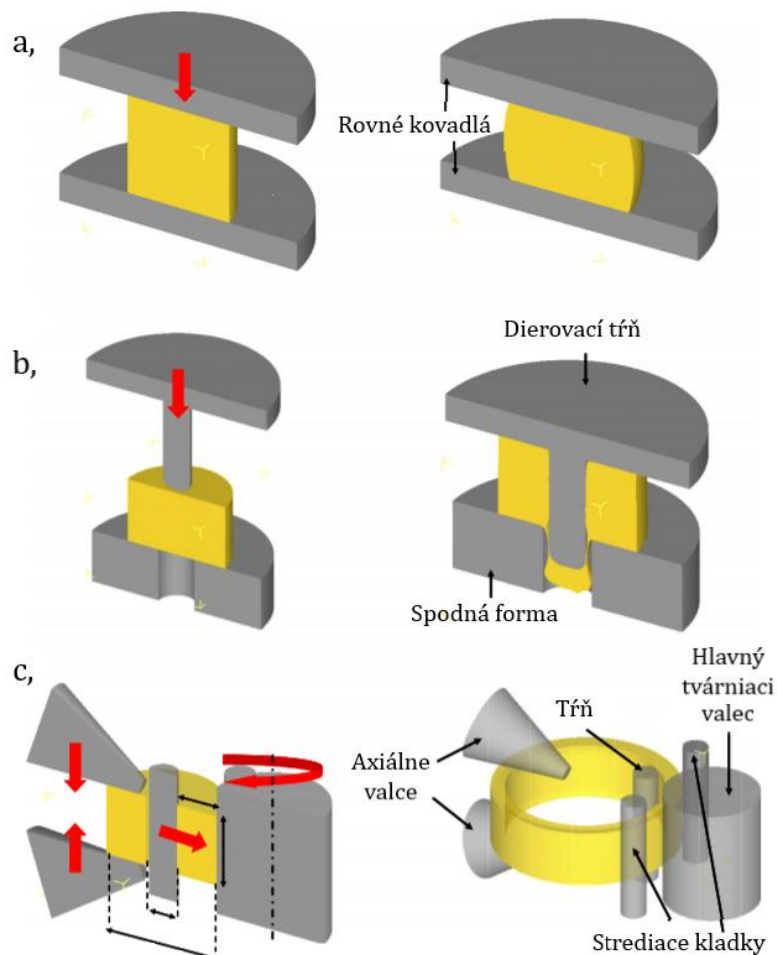
Ďalšou využívanou technológiou z oblasti technológie tvárnenia je valcovanie krúžkov. Podstatu tohto procesu tvorí pretváranie kovu medzi približujúcimi sa valcami. Redukciou hrúbky alebo aj výšky krúžku, ktorá nastáva približovaním tvárniacich valcov narastá jeho priemer (vonkajší aj vnútorný). Celý proces valcovania je postupný a kontinuálny. Strediace kladky slúžia pre zlepšenie stability procesu. Postup výroby krúžku valcovaním sa skladá z týchto krokov: ohrev kruhovej tyče, strihanie tyče na klátiky, utĺkanie klátika, dierovanie, nasadenie výkovku na trň a samotné valcovanie [42].

Pre výrobu ložiskových krúžkov je možné použiť dva druhy valcovania.

- Radiálne valcovanie – sa deje iba za pomoci približovania trňa k hlavnému tvárniacemu valcu (redukcia hrúbky krúžku). Axiálne valce sa v procesoch radiálneho valcovania nevyskytujú (žiadna redukcia

výšky krúžku). Vo výrobe ložísk sa radiálne valcovanie využíva skôr pre výrobu menších krúžkov (rádovo 50-150 mm).

- Radiálne-axiálne valcovanie (obr. 35) – nastáva pri redukcii hrúbky (približovanie tŕňa k hlavnému tvárniacemu valcu) a súčasne aj výšky (približovanie dvojice axiálnych valcov) valcovaného krúžku. Používa sa pre krúžky väčších rozmerov (vonkajší priemer do 3 m a výška do 0,5 m [42]).



Obr. 35 Postup výroby vývalku krúžku pomocou radiálne-axiálneho valcovania [42]: a) utĺkanie, b) dierovanie, c) valcovanie.

Do procesu obrábania tentokrát vstupujú vývalky. Valcovanie môže byť vykonávané za tepla alebo za studena. Medzi výhody patrí: variabilita rozmerov a geometrie krúžkov (možnosť výroby aj zložitejších tvarov krúžkov), rozmerová presnosť, možnosť valcovania okrem ocelí aj ľahké zliatiny alebo napr. titán, vysoká produktivita, stabilita v kvalite výroby, vysoká úspora materiálu a veľmi priaznivá makroštruktúra. Za nevýhodu by sa dali považovať vyššie energetické nároky potrebné pre pohon jednotlivých častí stroja a ohrev [42].

Výroba ložiskových krúžkov z plochej ocele

Jedná sa o menej tradičný spôsob výroby krúžkov. Podstatu procesu tvorí vysekávanie krúžkov – medzikruží. Tieto medzikružia sú vhodné pre výrobu krúžkov axiálnych ložísk. Do procesu obrábania môžu vstupovať priamo alebo sa ešte pred samotným obrábaním dá využiť možnosť predtvarovania obežnej dráhy. Pomocou prevrátenia medzikružia sa dajú zhotoviť aj tvary krúžkov radiálnych ložísk. Tento spôsob výroby má pomerne vysoké využitie materiálu a vysoký stupeň pretvárania materiálu [40]. Alternatívou pre vysekávanie medzikruží by mohlo byť použitie rezania vodným lúčom, plazmou alebo laserom.

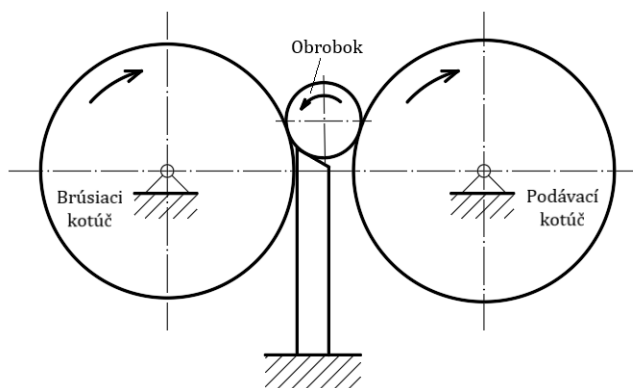
Brúsenie čiel krúžkov

Brúsenie čelných plôch ložiskových krúžkov je mimoriadne dôležitá operácia. Príkladom je poloha obežnej dráhy. Aby bolo možné zabezpečiť jej správnu polohu od základného čela (toto čelo spravidla nebýva označené opisom), je potrebné šírku krúžku držať v úzkej tolerancii. Taktiež rovnobežnosť čiel veľmi výrazne vplýva na presnosť pri ďalších operáciách dokončovania. Čelné brúsenie krúžkov sa delí na [40]:

- jednostranne brúsenie – je používané u nesymetrických krúžkov (plochy čiel sú rozdielne, napr. krúžky kuželíkových ložísk),
- obojstranné brúsenie – je používané vo väčšine prípadov.

Brúsenie vonkajších rotačných plôch ložiskových krúžkov

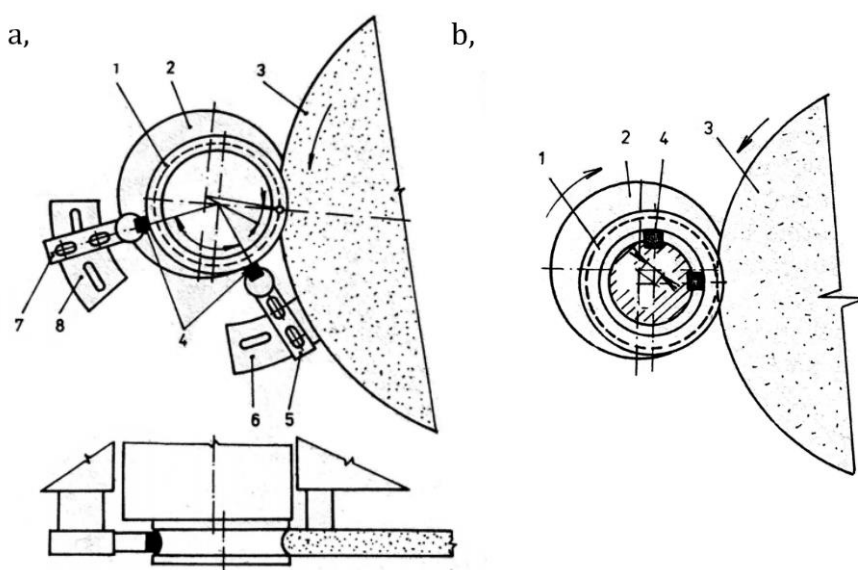
Pre brúsenie vonkajších valcových plôch krúžkov výborne slúži metóda priebežného bezhrotového brúsenia. Základná schéma je znázornená na obr. 36. Pozitívom tejto metódy je produktivita a nepotrebnosť upínania obrobkov. Obrobky sa udržiavajú v pracovnej polohe prostredníctvom rezných síl. U brúsenia ložiskových súčiastok bezhrotovou metódou sa spravidla používajú široké brúsiace a unášacie kotúče, ktoré obsahujú viacero pásiem (vstupné, rezné, kalibrovacie a výstupné pásmo). U brúsenia iba jedným prechodom sú používané lepené brúsiace kotúče. Kotúče tohto typu sú charakteristické obsahom rôznych zrnitostí, takže je možné postupne realizovať brúsenie nahrubo, načisto a dokončovacie brúsenie [40].



Obr. 36 Schéma bezhrotového brúsenia.

Bezhrtové brúsenie v klzných opierkach je alternatíva, ktorá sa využíva pre brúsenie obežných dráh ložiskových krúžkov. Pri použití tejto metódy sa obrobok kľže vo dvoch opierkach. Obrobok je na opierky pritláčaný vplyvom excentricity medzi osou vretena a obrobku. Pomocou trenia medzi čelom obrobku a špeciálnym elektromagnetickým unášačom na čele vretena je zabezpečená rotácia obrobku. Presnosť procesu závisí od osového hádzania vretena. Toto hádzanie sa dá odstrániť použitím osových opierok, ktoré sa umiestnia pri čelá obrobku. V radiálnom smere však hádzanie vretena nie je podstatné, pretože obrobok kľže v dvoch opierkach. Obrobok taktiež nie je radiálne upevnený, takže nedochádza k jeho deformácii. Jedná sa teda o veľmi presnú metódu brúsenia. Táto metóda má dva varianty [40]:

- brúsenie vonkajšej plochy s fixáciou za obrábanú plochu (obr. 37a),
- brúsenie vonkajšej plochy s fixáciou za vnútornú plochu (obr. 37b).

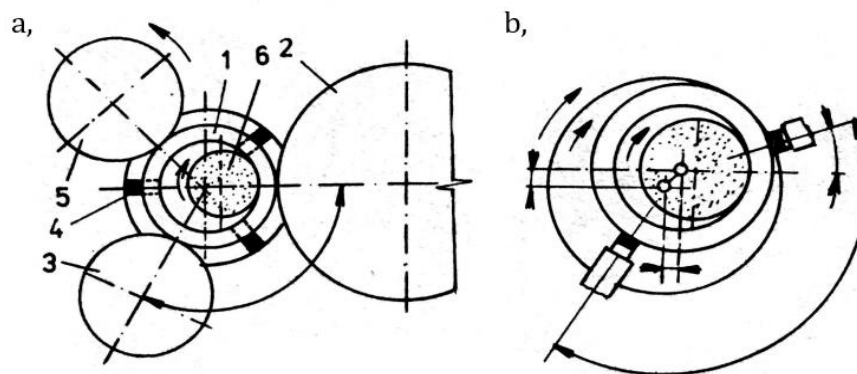


Obr. 37 Schémy bezhrtového brúsenia v klzných opierkach (1 – obrobok; 2 – čelo vretena; 3 – brúsiaci kotúč; 4 – opierky; 5 až 8 – nastavovacie časti) [40]: a) brúsenie vonkajšej plochy s fixáciou za obrábanú plochu, b) brúsenie vonkajšej plochy s fixáciou za vnútornú plochu.

Brúsenie vnútorných rotačných plôch ložiskových krúžkov

Prvou z metód brúsenia vnútorných rotačných plôch krúžkov je metóda bezhrtového brúsenia s použitím vodiacich valčekov. Schéma tejto metódy je znázornená na obr. 38a. Prisúvaním prítlačného valčeka sa obrobok opiera vonkajšou plochou o vodiaci a oporný valček. Zároveň je čelom opretý o pevne uložené axiálne opierky. Na presnosť výroby nevplyva hádzanie vretena, avšak veľký vplyv má geometria vodiacich valčekov a geometria vonkajšej plochy obrobku [40].

Ďalšou metódou brúsenia vnútorných rotačných plôch je bezhrtové brúsenie s použitím pevných opierok (obr. 38b). Tento proces je obdobný ako pri brúsení vonkajších plôch.



Obr. 38 Schémy bezhrotového brúsenia vnútorných plôch (1 – obrobok; 2 – vodiaci valček; 3 – pevný valček; 4 – čelné klzné opierky; 5 – prítlačný valček; 6 – brúsiaci kotúč) [40]:
a) brúsenie s použitím vodiacich valčkov, b) brúsenie s použitím pevných opierok.

Dokončovanie obežných dráh ložiskových krúžkov

Vysokým požiadavkám na funkčné plochy – obežné dráhy krúžkov nie je metóda brúsenia postačujúca. Je teda nutné použiť presnejšie dokončovacie metódy. Superfínišovanie patrí medzi najviac využívané. Jeho princíp spočíva v pritláčaní kameňa s veľmi jemnou zrnitosťou na obrábaný povrch rotujúceho obrobku. Pritláčanie je vykonávané konštantnou silou. Tvar kameňa definuje geometria obrábanej plochy. Celý proces sa deje za prítomnosti reznej kvapaliny. Špecifikom tejto metódy je kmitavý pohyb, ktorý vykonáva kameň.

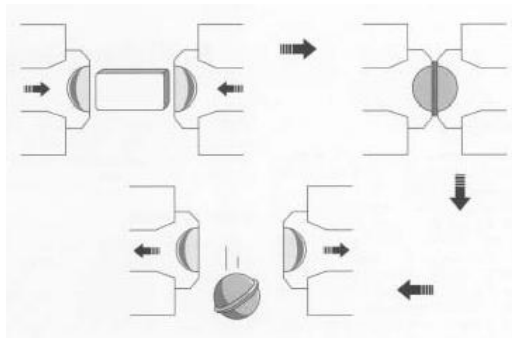
Najväčší úbytok materiálu nastáva pri superfínišovaní v prvej fáze procesu. Nástroj vtedy prichádza do kontaktu s vrcholkami mikronerovností. Postupným zarovnávaním týchto vrcholkov sa zväčšuje plocha medzi nástrojom a obrobkom. Vzhľadom na to, že sila na nástroj je konštantná a kontaktná plocha sa zväčšuje, špecifický tlak nástroja na obrobok sa takisto zmenšuje. Zastavenie procesu nastáva v prípade, ak už je veľkosť tohto tlaku tak malá, že už nedochádza k odberu. Technológia superfínišovania je vhodná pre jednoduché aj zložitejšie geometrické tvary. Okrem zlepšovania drsnosti povrchu (po superfínišovaní sa drsnosť pohybuje okolo $R_a = 0,1$) sa zlepšuje aj vlnitosť povrchu a odchýlka od kruhovitosti [40].

3.2.2 Výroba valivých teliesok

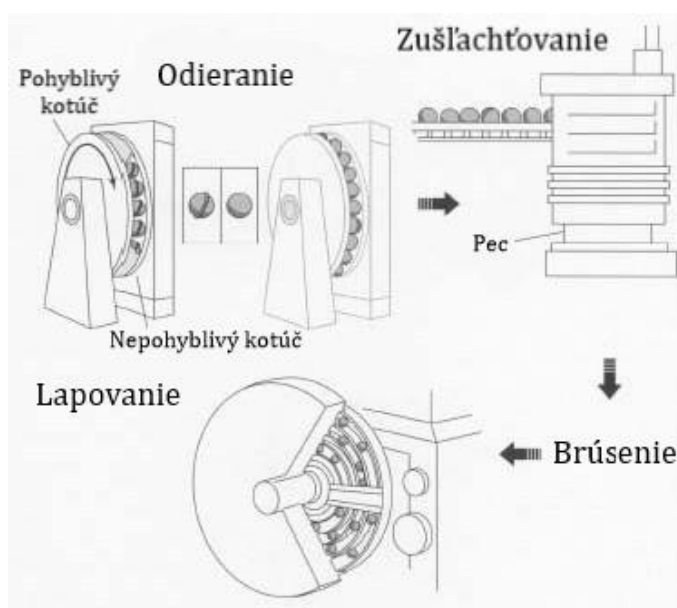
Pre výrobu valivých teliesok sa používajú tradičné polotovary buď vo forme drôtov alebo kruhových tyčí, ktoré dosahujú dĺžok od jednotiek až po desiatky metrov. Aj vo výrobe valivých teliesok má technológia obrábania nezastupiteľné využitie. V niektorých prípadoch je dokonca pre výrobu valivého telieska z polotovaru jedinou využívanou (mimo tepelného spracovania). Často však obrábaniu predchádza tvárnenie. Charakteristickou vlastnosťou výroby valivých teliesok je vysoká produktivita. V najproduktívnejších výrobách (hromadných) sa pohybuje rádovo v jednotkách stoviek kusov za minútu.

Valivé telieska s bodovým stykom – guľky

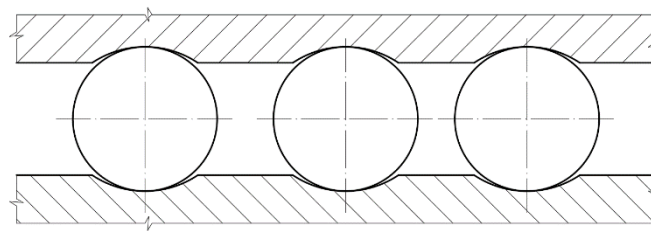
Aj napriek svojmu jednoduchému tvaru sú ložiskové guľky pomerne výrobné zložité. Vstupom do výroby bývajú plné oceľové drôty, ktoré sú po odvinutí strihané na malé kúsky požadovanej dĺžky. Bezprostredne po odstrihnutí nasleduje lisovanie za studena. Oba konce kúsku drôtu sú pomocou pôsobenia tlaku lisovacieho nástroja zatlačené smerom ku deliacej rovine nástroja. Tým vzniká tzv. hrubý tvar guľky s prebytočným materiálom po lisovaní – výronkom (obr. 39). Po vylisovaní nasleduje prvý obrábací proces, ktorý sa nazýva odieranie. Princíp tejto metódy je založený na obehú guľiek vo viacerých drážkach čelne drážkovaných kotúčov z tvrdej liatiny. Kotúče sú dva a sú umiestnené oproti sebe. Detail drážok kotúčov je znázornený na obr. 41. Jeden kotúč je pevný (nepohyblivý) a druhý kotúč je pohyblivý (koná rotačný pohyb). Zariadenie pre odieranie je znázornené na obr. 40. Vnútro drážok má zdrsnený povrch, čo zabezpečuje odstraňovanie nerovností z povrchu guľiek. Nepohyblivý kotúč je opatrený výrezom, vďaka čomu môžu guľky vstupovať do všetkých drážok. Po vstupe nasleduje samotný obeh drážkami až pokiaľ sa guľky znova nedostanú k výrezu kde sa ich obeh končí. Špeciálnym dopravníkom sú guľky privádzané späť na vstup a celý proces sa opakuje. Po odstránení výronku a dosiahnutí požadovaného rozmeru a geometrického tvaru sa proces odierania končí. Prídavok pre dokončovacie operácie sa väčšinou pohybuje okolo hodnoty 0,2 mm [40, 43].



Obr. 39 Lisovanie guľiek [43].



Obr. 40 Odieranie guľiek s nasledujúcimi procesmi [43].

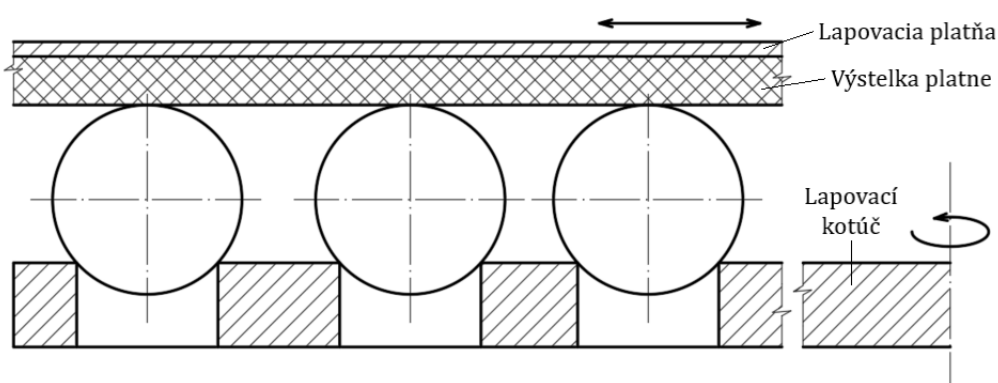


Obr. 41 Detail drážok kotúčov.

Podobne ako pri výrobe krúžkov, po výrobe hrubého tvaru nasleduje zušľachtovanie. Vo väčšine prípadov sa kaliača teplota pohybuje okolo hodnoty 840 °C s následným zakalením do oleja (platí pre oceľ 100Cr6). Teplota pre popúšťanie sa pohybuje okolo 150 °C s pomalým ochladením sa vzduchu (100Cr6). Veľmi priaznivou vlastnosťou valivých ložísk je stav, kedy sú guľky (valivé telieska) aj krúžky vyrobené z rovnakej ocele, pričom po tepelnom spracovaní sú si pokiaľ možno čo najbližšie v tvrdosti a húževnatosti. [43].

Po tepelnom spracovaní guľiek nasleduje ich brúsenie. Existuje viacero metód brúsenia guľiek. Prvá z nich je založená na rovnakom princípe ako odieranie. Dokonca sa môže vykonávať aj na rovnakom stroji. Jediným rozdielom je použitie brúsnych kotúčov namiesto odieracích. Po tomto procese zostáva prídavok na lapovanie približne 0,01 až 0,02 mm [43]. Na ďalšiu metódu brúsenia možno naraziť v literatúre [40]. Jedná sa o metódu presného brúsenia guľiek.

Lapovanie je poslednou dokončovacou operáciou guľiek. Aj pre tento proces je vyvinutých viacero spôsobov, ktoré sú podrobnejšie popísané v literatúre [40]. Jedným z nich je lapovanie v sedlách (obr. 42). Do lapovacieho kotúča sú vložené guľky, ktoré pritláča lapovacia platňa. Táto platňa je zložená z vrstvy penovej gumeny a je potiahnutá vrstvou kože. Kotúč koná striedavý rotačný pohyb a platňa priamočiary vratný pohyb. Tým je zabezpečené sférické pootáčanie guľiek. Za pomoci lapovacieho média sú dosahované výborné výsledky. Dosahuje sa tzv. zrkadlového lesku guľiek a dochádza aj k ďalšiemu vylepšeniu geometrického tvaru po brúsení [40].

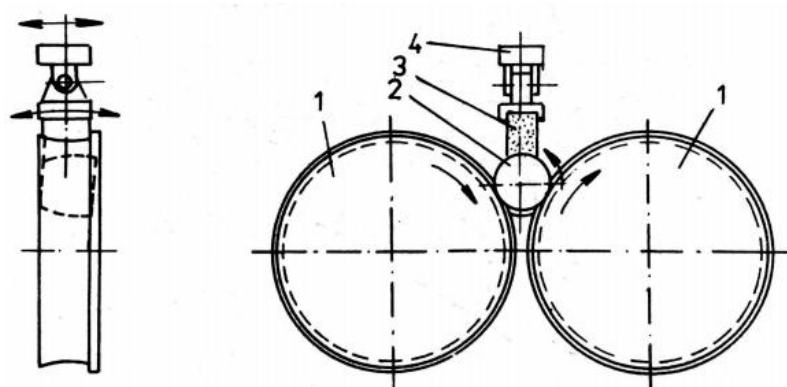


Obr. 42 Schéma lapovania guľiek v sedlách .

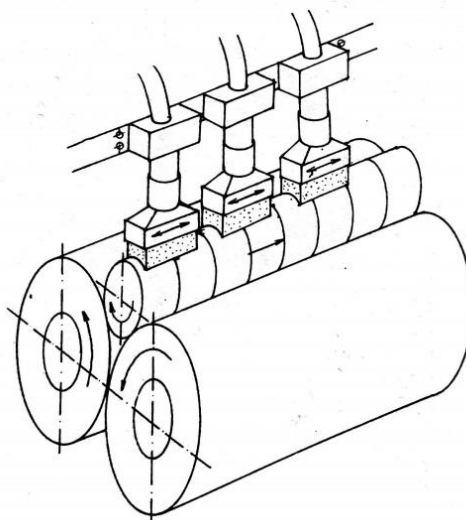
Valivé telieska s čiarovým stykom

Aj u teliesok s čiarovým stykom sa zachováva rovnaká postupnosť výroby ako u guľiek a krúžkov: výroba hrubého tvaru z polotovaru, zušľachtovanie, dokončovanie – brúsenie, superfinišovanie a pod.

Okrem možnosti obrábania tyčí je pre vyhotovenie hrubého tvaru (valčekov, kuželíkov a súdkov) možné využiť aj valcovanie teliesok, prípadne ich lisovanie za tepla alebo za studena. Pri použití tvárnenia sú požadované minimálne prídavky na obrábanie pred kalením. Obrábanie tvárnených teliesok pred kalením sa väčšinou realizuje brúsením (plášť a aj čela). Prvým krokom po kalení je brúsenie čiel. Nasledujú operácie bezhrotového brúsenia a superfinišovania, ktoré sa môžu vykonávať priebežným alebo zapichovacím spôsobom. Princípy sú obdobné ako pri dokončovaní krúžkov. Použitím zapichovacieho spôsobu klesá produktivita výroby. Tento spôsob brúsenia a superfinišovania sa využíva predovšetkým u súdkov, kvôli ich špecifickému konvexnému tvaru plášťa (obr. 43). Superfinišovanie valčekov (obr. 44) a kuželíkov je možné zabezpečiť priebežným spôsobom. Priebežné superfinišovanie kuželíkov však vyžaduje ich správnu orientáciu, čo vyžaduje nutnosť použitia triediaceho zariadenia a podávacích kotúčov so sklonenými plochami [40].



Obr. 43 Zapichovacie superfinišovanie plášťa súdka [40].



Obr. 44 Priebežné superfinišovanie valčekov [40].

Výroba ihličiek bude v tejto práci popísaná pomocou konkrétneho prípadu výroby. Vstupom do výroby ihličiek je oceľový drôt, ktorý je prechodom cez viaceré kladky rovnaný. Následne je tento drôt preťahovaný cez kalibračný otvor a strihaný na požadovanú dĺžku. Vzniká hrubý tvar výrobku. Procesu zušľachtovania však ešte

predchádza technológia vibračného omieľania s následným čistením. Vibračné omieľanie je proces, pri ktorom sú obrobky voľne vložené do bubna spoločne so špeciálnymi brúsnymi kameňmi. Vplyvom vibrácií nastáva ich vzájomná interakcia a dochádza ku zlepšovaniu kvality povrchu obrobkov. Tento proces býva často používaný pri výrobe ostatných teliesok s čiarovým stykom, ako náhrada superfinišovania. Pri výrobe ihličiek sa však tento proces používa pre zarovnanie ostrých hrán po kalibrácii a strihaní. Ďalším krokom vo výrobe ihličiek je zušľachtovanie. Po ňom nasledujú brúsiace operácie čela a plášťa. Ihlička nimi nadobúda svoje bližšie rozmery a tvary. Funkčné plochy sú v tomto prípade dokončované metódou honovania (metóda blízka superfinišovaniu) [44].

3.2.3 Výroba ložiskových kliebok

Primárnou úlohou ložiskových kliebok je rovnomerné rozdelenie valivých teliesok po obežnej dráhe a zamedzenie ich vzájomnému kontaktu. Výroba plechových kliebok býva realizovaná prevažne pomocou operácií týchto metód výroby:

- úprava pásov na požadovanú šírku,
- strihanie,
- hlboké ťahanie,
- ohýbanie,
- sústruženie,
- lisovanie,
- zváranie,
- nitovanie.

Masívne kliebky sa používajú u zložitejších ložísk. Sú to hlavne typy, u ktorých sa telieska pohybujú po premenlivých obežných dráhach. Polymérové kliebky sú vyrábané metódou injekčného vstrekovania, prípadne by sa dala využiť aj 3D tlač. Pre kovové masívne kliebky sa využívajú výlučne operácie technológie obrábania. Vstupom do výroby môžu byť rúry, výlisky, tyče alebo odliatky. Materiály kovových masívnych kliebok (mosadz, bronz a pod.) sú výborne obrábatel'né. Procesy obrábania začínajú sústružníckymi operáciami, potom nasleduje zhotovenie tzv. vreciek pre telieska víťacími alebo frézovacími operáciami. Využívané operácie obrábania sú:

- sústruženie,
- frézovanie (napr. stopkovou frézou),
- vyvrtávanie,
- brúsenie (odstraňovanie ostrín),
- ostatné metódy (hobl'ovanie, preťahovanie a rotačné pilovanie) [40].

3.2.4 Montáž

Podobne ako procesy výroby častí ložísk, aj procesy montáží sú veľmi rôznorodé. Väčšina montážnych procesov sú plne automatizované. Niektoré ložiská sa však montujú aj mechanizovane alebo ručne (manuálne). Tieto postupy sa používajú prevažne u nadrozmerných ložísk.

Pred samotným procesom montáže je potrebné však zabezpečiť očistenie vyrobených komponentov. Čistenie sa najčastejšie realizuje prúdom čistiacej kvapaliny alebo ponorom.

Najdôležitejším krokom pred montážou je však triedenie ložiskových súčiastok. Tento špecifický postup je založený na priradení teliesok ku krúžkom tak, aby bola zabezpečená požadovaná vnútorná radiálna vôľa.

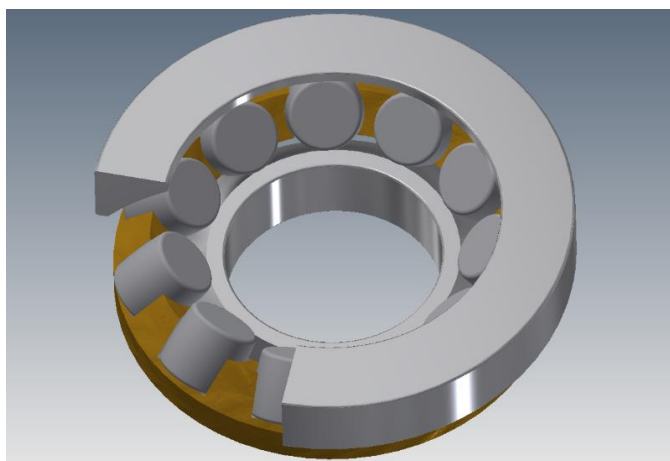
Prvým využívaným spôsobom je párovanie roztriedených krúžkov. Vonkajšie a vnútorné krúžky sú rozdelené do rozmerových skupín podľa priemerov obežných dráh. V závislosti od veľkosti krúžku, skupiny sú odstupňované po 2, 5 alebo 10 μm (veľkosti odchýlok od menovitého rozmeru). Podľa veľkosti dostupných valivých teliesok sú vytvorené kombinácie krúžkov, u ktorých je po zmontovaní vždy zabezpečená predpísaná radiálna vôľa. Tento spôsob triedenia je vhodný pre ručnú aj automatizovanú montáž. Druhým spôsobom je párovanie náhodným výberom krúžkov. Spočíva v zmeraní obežnej dráhy náhodne vybraného vonkajšieho a vnútorného krúžku, ku ktorým sa následne podľa zmeraných hodnôt priradí teliesko. Nevýhodou tohto spôsobu je potrebnosť veľkého počtu skupín rozmeraných teliesok (desiatky skupín). Náhodný výber je vhodný hlavne pre automatizovanú montáž. Najvhodnejším riešením sa javí kombinovaný spôsob párovania. Tu rozmeriavajú do skupín iba vnútorné krúžky. Na náhodne prichádzajúcom vonkajšom krúžku sa zmeria obežná dráha a podľa hodnoty sú priradené vonkajší krúžok s telieskom zo skupín. Zvyčajne postačuje 3-5 rozmerových skupín valivých teliesok [40].

4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Praktickú časť tejto práce tvorí návrh technologického postupu časti ložiska. Pôvodným zámerom bolo túto časť práce realizovať v spolupráci firmou, ktorá sa zaoberá výrobou ložísk. Tento zámer sa však napokon nepodarilo uskutočniť.

4.1 Voľba typu ložiska

Pre tvorbu technologického postupu bolo potrebné vytvoriť predlohu (výrobný výkres súčiastky). Podľa rozmerov súdku v literatúre [40] bol navrhnutý koncept axiálneho súdkového ložiska s mosadznou kľetkou (obr. 45).



Obr. 45 Koncept axiálneho súdkového ložiska.

Vzhľadom na to, že sa jedná o koncept, zvolené rozmery, kvalita povrchov, tolerancie a geometrické tolerancie pravdepodobne nezodpovedajú reálnemu ložisku. Tieto údaje spadajú pod prísne interné pravidlá výrobcov ložísk. Aj to bol možný dôvod neuskutočnenia spolupráce s týmito firmami. Z konceptu bol následne vytvorený výkres vonkajšieho ložiskového krúžku (príloha 2), ktorý tvorí predlohu pre rámcový technologický postup.

4.2 Voľba materiálu a polotovaru

Pre materiál súčiastky bola zvolená najpoužívanejšia ložisková oceľ 100Cr6 (ČSN EN ISO 683-17). Ako polotovár bola zvolená kruhová tyč. Rozmery boli určené podľa nasledujúceho výpočtu:

$$D_p = d_{max} + (0,05 \cdot d_{max} + 2) \quad (4.1)$$

$$D_p = 170 + (0,05 \cdot 170 + 2) = 180,5 \text{ mm}$$

$$L_p = L_{max} + 2 \cdot L_{\check{c}} \quad (4.2)$$

$$L_p = 26 + 2 \cdot 3 = 32 \text{ mm}$$

Vzhľadom na to, že najbližší vyšší normalizovaný priemer polotovaru je až 190 mm, kvôli hospodárnosti bol zvolený najbližší normalizovaný priemer – $\varnothing 180$ mm. Rozmer normalizovaného polotovaru bude teda: $\varnothing 180-32$ (EN 10060). Počet vyrobených kusov je 10 – kusová výroba.

4.3 Voľba strojov a nástrojov

4.3.1 Delenie polotovaru

Na začiatku výroby je potrebné rozdeliť dlhú tyč zo skladu na požadovaný rozmer polotovaru. Pre túto operáciu bola zvolená pásová pila na kov BOMAR ERGONOMIC 320.250 G [45]. Základné parametre tohto stroja sú uvedené v tabuľke 4.1.

Tab. 4.1 Parametre píly [45].

BOMAR ERGONOMIC 320.250 G	
Najmenší rezaný priemer	5 mm
Najväčší rezaný priemer	250 mm
Rýchlosť pílového pásu	40/80 m.min ⁻¹
Výkon motora	1,1/1,5 kW (400 V/50 Hz)
Rozmery	1 500 mm x 9 00 mm x 1 250 mm
Hmotnosť	345 kg

Zvolené nástroje:

- Pílový pás 2910x27x0,9 M42 [45].

4.3.2 Sústruženie

Pokračovaním výroby sú operácie sústruženia. Pomocou nich bude zhotovený hrubý tvar krúžku. Prídavky na dokončovacie operácie (číslo operácie) boli zvolené podľa literatúry [46]. Pre výrobu budú potrebné dve upnutia obrobku (prvé upnutie a následné otočenie). Požiadavkám vyhovuje univerzálny CNC sústruh SPINNER TC 400-52 s revolverovou hlavou (obr. 46) [47]. Základné parametre tohto stroja sú uvedené v tabuľke 4.2.

Tab. 4.2 Parametre sústruhu [47].

SPINNER TC 400-52	
Maximálny priemer sústruženia	280 mm
Maximálna dĺžka sústruženia	250 mm
Otáčky vretena	5 000 min ⁻¹
Počet nástrojov revolverovej hlavy	12
Výkon motora (100 %/40 %)	15 kW/19 kW
Výkon vretena	19 kW
Čas výmeny nástroja	0,3 s
Rozmery	2 100 mm x 1 350 mm x 1 800 mm
Hmotnosť	3 000 kg

Zvolené nástroje:

- PCKNR 3225 P12 VRD CNMG 120408E-M [48],
- Vrták strediaci 60° – TVAR A 2 [49],
- Vrták s válcovou hlavou krátky 40x135/70 [49],
- A25T-DCLNR12 VRD CNMG 120408E-M [48],
- DWLNR 3225 P 08 WNMG 080408E-FM [48].



Obr. 46 CNC sústruh SPINNER TC 400-52 [47].

4.3.3 Brúsenie

Ešte pred samotným brúsením je nutné obrobok tepelne spracovať. Prvým dôležitým krokom pri brúsení je brúsenie čela obrobku, ktoré slúži ako úložná plocha ložiska a zároveň ako základňa pri meraní obežnej dráhy. Pre túto operáciu bola zvolená rovinná brúska Bernardo BSG 40100 TDC (obr. 47) [50]. Základné parametre sú uvedené v tabuľke 4.3.



Obr. 47 Rovinná brúska Bernardo BSG 40100 TDC [50].

Tab. 4.3 Parametre brúsky [50].

Bernardo BSG 40100 TDC	
Rozmery pracovného stolu	405 mm x 1 020 mm
T-drážky: počet/šírka	3/14 mm
Otáčky vretena	1450 min ⁻¹
Rozmery kotúča	350 mm x 40 mm x 127 mm
Maximálny pozdĺžny posuv	1 130 mm
Maximálny priečny posuv	450 mm
Motor vretena	4 kW
Rozmery	3 100 mm x 2 200 mm x 1 900 mm
Hmotnosť	3 700 kg

Zvolené nástroje:

- Brúsiaci kotúč TYROLIT T1 350x40x127 98A 46 K 9 V 40 [51].

Po brúsení čela nasleduje brúsenie vonkajšej valcovej plochy krúžku a obežnej dráhy. Na brúsenie vonkajšej valcovej plochy v tomto prípade nemôže byť aplikovaná metóda zapichovacieho bezhrotového brúsenia. Vzhľadom na to, že priemer vyrábaného krúžku je omnoho väčší ako jeho šírka, krúžok by si pravdepodobne nevedel udržať stabilnú polohu medzi kotúčmi. Preto bola zvolená brúska na guľato Proma PBK-1000 (obr. 48) [52]. Základné parametre sú uvedené v tabuľke 4.4.

Tento stroj bol zvolený aj pre brúsenie obežnej dráhy krúžku. Samotnému procesu však v tomto prípade musí predchádzať orovnanie brúsiaceho kotúča na požadovaný rozmer.



Obr. 48 Brúska na guľato Proma PBK-1000 [52].

Tab. 4.4 Parametre brúsky [52].

Proma PBK-1000	
Výška hrotov	180 mm
Brúsený priemer	8-320 mm
Rozmery kotúča	400 mm x 50 mm x 203 mm
Otáčky pracovného vretena	25-220 min ⁻¹
Otáčky brúsneho vretena	1 670 min ⁻¹
Otáčky vretena pre vnútorné brúsenie	10 000 min ⁻¹
Celkový príkon	9 kW
Rozmery	3 605 mm x 1 810 mm x 1 515 mm
Hmotnosť	5 000 kg

Zvolené nástroje:

- Brúsiaci kotúč TYROLIT T1 400x50x127 98A 60 K 9 V 40 [53],
- Brúsiaci kotúč TYROLIT T12 125/40x14/3x20-6x9x40 99BA 60 K 9 V 32 [54].

4.3.4 Superfinišovanie

Navrhnutú drsnosť ($R_a = 0,1$) nie je možné dosiahnuť klasickým brúsením. Ako finálny krok na dokončenie obežnej dráhy krúžku bola preto zvolená metóda superfinišovania. Pre túto operáciu bol navrhnutý stroj Supfina 725 A [55]. Ide o jednoučelový stroj, určený pre dokončovanie vonkajších a vnútorných krúžkov valivých ložísk. Prídavok na superfinišovanie činí 0,03 mm (určený z literatúry [46]).

Zvolené nástroje:

- Superfinišovací kameň GC2000RH40 [56].

4.3.5 Ostatné úkony

Veľmi dôležitými krokmi sú pri výrobe taktiež medzioperačná a výstupná kontrola. Každéj kontrole musí predchádzať čistenie obrobku. Použitý môže byť stlačený vzduch, prípadne ponor do vhodného čistiaceho média.

Pre kontrolu súčiastky boli navrhnuté nasledujúce meracie prístroje [57]:

- Posuvné meradlo Mitutoyo Digital ABS Caliper (500-182-20),
- Súradnicový merací stroj Mitutoyo CRYSTA-Plus M (196-591),
- Prístroj na meranie drsnosti povrchu Surftest SJ-210 (178-560-01D),
- Odchýlkomer Mitutoyo Digital Indicator ID-S (543-790).

4.3.6 Rámcový technologický postup

Rámcový technologický postup je obsahom prílohy 3.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Hmotnosť hotového krúžku bola určená pomocou programu Autodesk Inventor Professional 2018 a činí hodnotu 1,57 kg (čistá hmotnosť). Hmotnosť vstupného polotovaru bola zistená výpočtom a jej hodnota je približne 6,40 kg (hrubá hmotnosť). Z pomeru čistej a hrubej hmotnosti je možné určiť hmotnostné využitie materiálu pri výrobe krúžku, ktoré vyšlo približne 24,5 %. Ide o pomerne nízku hodnotu, avšak pri kusovej výrobe je táto hodnota akceptovateľná. Rozmery krúžku neumožňujú použiť alternatívu polotovaru v podobe bezšvovej rúry. Polotovary vo forme výkovkov sú vhodnejšie skôr pre sériovú až hromadnú výrobu. Táto alternatíva by síce zlepšila hmotnostné využitie materiálu, z cenového hľadiska by však výhodná pravdepodobne nebola. Kruhová tyč sa tak javí ako najlepšia alternatíva pre polotovar danej súčiastky v kusovej výrobe.

Možnou alternatívou dokončovania superfinišovaním by v navrhnutom postupe mohla byť metóda vibračného omieľania. Hodnoty parametru $Ra = 0,1$ sú touto metódou v celku ľahko dosiahnuteľné. Proces omieľania je pomerne časovo náročný (do 10 hod), čo by výrazne predĺžilo výrobu súčiastky. Jedná sa však o kusovú výrobu, preto by táto skutočnosť nemala byť výrazným negatívom. Ďalším negatívom je fakt, že omieľanie neprispieva ku zlepšovaniu geometrickej presnosti dokončovaných plôch. Na druhej strane by však pri použití omieľania odpadla nutnosť použitia drahého jednoúčelového zariadenia pre superfinišovanie.

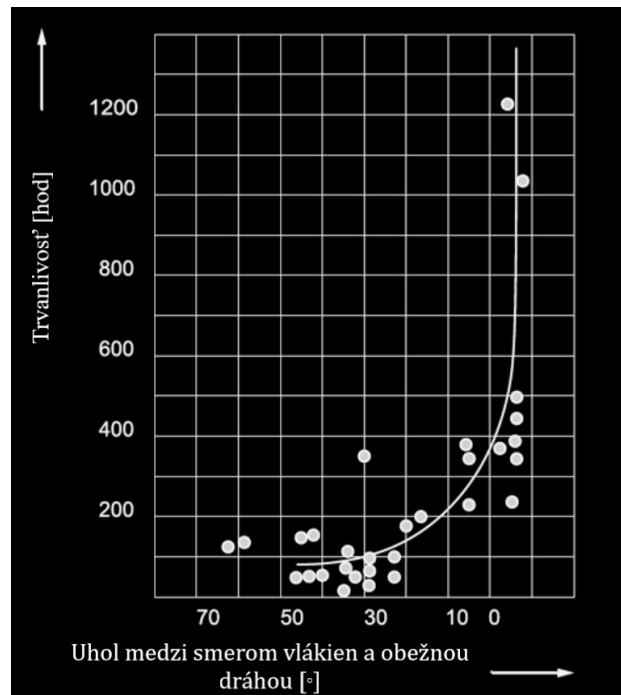
5.1 Prípade sériovej výroby

V prípade sériovej (alebo početnejšej) výroby daného krúžku by bolo vhodné zvoliť za polotovar rozvalcovaný krúžok. Táto voľba by zo sebou prinášala hneď niekoľko výhod:

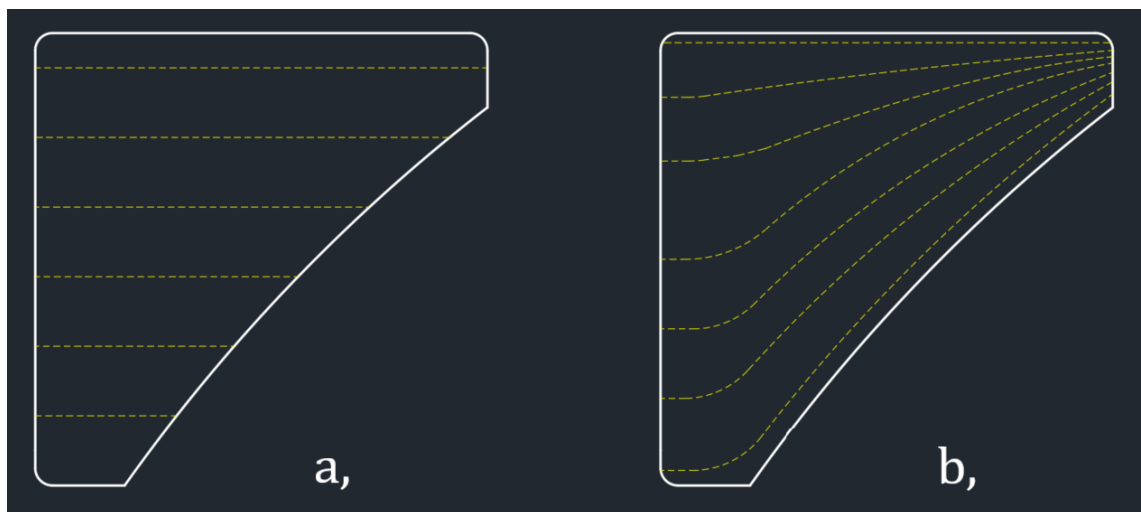
- nárast hmotnostného využitia materiálu,
- pokles množstva obrábaného materiálu – pokles nákladov na obrábanie (spotrebovaná energia, výmena nástrojov a pod.),
- vyšší stupeň pretvárania,
- úprava smeru vlákien voči obežnej dráhe – zvýšenie trvanlivosti ložiska.

Na obr. 49 je znázornená závislosť trvanlivosti ložiska na uhle, ktorý zvierajú vlákna materiálu s obežnou dráhou ložiskového krúžku. Závislosť potvrdzuje tvrdenie, ktoré bolo uvedené v kapitole 2 – najvyššia trvanlivosť je dosahovaná v prípade rovnobežnosti smeru vlákien s obežnou dráhou krúžku. Táto vlastnosť ložiskového krúžku sa dá zabezpečiť práve technológiou valcovania. Obr. 50 znázorňuje rozdielnosť smeru vlákien medzi obrábaným krúžkom z tyče a krúžkom, pre ktorý bol použitý polotovar vo forme vývalku.

Nárast počtu vyrábaných kusov by zo sebou priniesol taktiež zvýšenie stupňa automatizácie a optimalizáciu výrobných procesov (napr. automatická výmena obrobku, aplikácia priebežného brúsenia a pod.).



Obr. 49 Závislosť trvanlivosti ložiska na uhle, ktorý zvierajú vlákna materiálu s obežnou dráhou ložiskového krúžku [25].



Obr. 50 Rozdiel medzi smermi vlákien u: a) krúžku vyrobeného obrábaním tyčového polotovaru, b) krúžku vyrobeného z polotovaru vo forme vývalku.

ZÁVER

Primárnou úlohou tejto práce bolo priblížiť využívané technológie v ložiskovej výrobe. Vzhľadom na rozsiahlosť problematiky, bolo potrebné pristúpiť ku kompromisu medzi detailnosťou rozboru a rozsahom bakalárskej práce.

Na základe nadobudnutých poznatkov z teoretickej časti bola vypracovaná praktická časť tejto práce. Jej náplň by sa dala zhrnúť do týchto bodov:

- pre neposkytnutie podrobnejších výrobných informácií od navštívených firiem bolo nutné pristúpiť k návrhu vlastného konceptu ložiska,
- z navrhnutého konceptu axiálneho súdkového ložiska bol zhotovený výrobný výkres vonkajšieho krúžku (predloha pre technologický postup),
- samotný návrh technológie výroby krúžku.

Aj napriek tvaru a rozmerom výrobku bola za polotovár zvolená kruhová tyč. Toto riešenie zo sebou prináša pomerne nízke hmotnostné využitie materiálu (približne 24,5 %). V kusovej výrobe by to však nemalo byť výraznejším negatívom.

Prípadom početnejšej výroby daného krúžku sa zaoberala úvaha v technicko-ekonomickom zhodnotení. Polotovár vo forme kruhovej tyče by už v tomto prípade nebol vhodný. Navrhovaným riešením bol valcovaný polotovár (rozvalcovaný krúžok). Okrem úspory materiálu by sa tým docielila aj vyššia kvalita výrobku.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] KLIMEŠ, Pavel. *Části a mechanismy strojů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2422-2.
- [2] JANKOVÝCH, Róbert. Prednáška z predmetu 6SM (18/19Z): *Metody a prostriedky měření parametrů textury povrchu*. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně [cit. 2019-03-13].
- [3] DOSTÁL, Břetislav. Ťažisko telesa a jeho určenie. Trenie. Trecia sila. Tlaková sila. Význam trecej sily OPAKOVANIE. Tlak. Jednotky tlaku: Trenie. Trecia sila. In: *Docplayer* [online]. 2018 [vid. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/48008348-Tazisko-telesa-a-jeho-urcenie-trenie-trecia-sila-tlakova-sila-vyznam-trecej-sily-opakovanie-tlak-jednotky-tlaku.html>
- [4] VÁCLAV, Ľubomír. Trenie, ložiská a ich mazanie: Trenie. In: *Tribotechnika* [online]. MOGUL SLOVAKIA [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42009/trenie-loziska-a-ich-mazanie.html>
- [5] SCHOLZ, Marek. 21. ročník, úloha IV . E . . . valivý odpor: Teorie. In: *Fykos* [online]. Praha: Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://fykos.cz/_media/rocnik21/ulohy/pdf/uloha21_4_e.pdf?cache=
- [6] 12. Klasifikácia opotrebenia podľa STN 01 5050. In: *Kvalitaprodukcie* [online]. 2010 [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <http://www.kvalitaprodukcie.info/12-klasifikacia-opotrebenia-podla-stn-01-5050/>
- [7] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [8] Prírubové klzné púzdra, verzia V, spekaný bronz, DIN 1850 (DIN 4379 tvar F). In: *Components* [online]. Viničné: COMPONENTS [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.components.sk/produkty/Prirubove-klzne--puzdra-verzia-V--spekany-bronz-DIN-1850-DIN-4379-tvar-F->
- [9] Púzdro PCM 110115115 M. In: *Evrox* [online]. Žilina - Považský Chlmec: EVROX [vid. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://www.evrox.sk/e-shop/loziska/eshop/10-1-Klzne-puzdra/75-2-Klzne-puzdra-zakruzovane-KX/5/6773-Puzdro-PCM-110115115-M>
- [10] Ojniční ložiska - sada: Ojniční ložiska - sada pro sklízecí mlátičku Fortschritt E 524. In: *Soko* [online]. Vizovice: SOKO [vid. 2019-03-07]. Dostupné z: Ojniční ložiska - sada: Ojniční ložiska - sada pro sklízecí mlátičku Fortschritt E 524. In: *Soko* [online]. Vizovice: SOKO [cit. 2019-03-07]. Dostupné z: [http://www.soko.cz/cs/fortschritt/fortschritt-e524/ojnicni-loziska-sada-10739#prettyPhoto\[pg\]/1/](http://www.soko.cz/cs/fortschritt/fortschritt-e524/ojnicni-loziska-sada-10739#prettyPhoto[pg]/1/)
- [11] ZAHRADNÍČEK, Rudolf, Karol SEMRÁD, Romana DOBÁKOVÁ a Jozef ČERNÁN. 8. Ložiská. In: *Web.tuke* [online]. Košice: Letecká fakulta TU v Košiciach, 2015 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/lf->

kftp/Ucitelia/Zahradnicek%20Rudolf/%20Avio%20-%20casti%20strojov%20+%20materialy/Skript%e1%20pre%20Patr%2066%20modul%206%20-%20PDF/08-Lo%9eisk%e1.pdf

[12] Klzné ložiská. In: *Lubomir-mazur* [online]. [vid. 2019-02-23]. Dostupné z: <https://lubomir-mazur.webnode.sk/doa/spalovacie-motory/klzne-loziska/>

[13] BEČKA, Jan. Predn_design_KON_I_8. In: *Users.fs.cvut* [online]. Praha: Fakulta strojní, ČVUT v Praze [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/~beckajan/predn_design_KON_I_8.pdf

[14] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

[15] Kolektiv VÚNM a ČKD. Naftové motory čtyřdobé, 1. díl. Státní nakladatelství technické literatury, n.p., Druhé vydání, Praha, 1962. L123-B3-IV-41/2490

[16] NOVOTNÝ, Jiří. Materiály, použití a návrh kluzných ložisek. In: *Tribotechnika* [online]. Plzeň: ZČU Plzeň, Katedra konstruování strojů [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: http://www.tribotechnika.sk/1-2008/klzne_loziska_tribotechnika.html

[17] ASTM Standard C94000 Leaded Bronze Bushings. In: *Rcgleitlager* [online]. Jiashan County, Zhejiang Province: JIASHAN RONCAN SLIDE BEARING CO. [vid. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://www.rcgleitlager.com/bronze-alloy/high-leaded-tin-bronze/astm-standard-c94000-leaded-bronze-bushings.html>

[18] POUZDRA S KLUZNOU VRSTVOU PTFE (TEFLON). In: *Madex* [online]. České Budějovice: MADEX marketing [vid. 2019-03-15]. Dostupné z: http://www.madex.cz/files/data/564f25a158bdc_Kluzna-pouzdra-KU.pdf

[19] *Kluzná ložiska PTFE polyamid* [online]. In: Lanškroun: Exvalos [vid. 2019-03-12]. Dostupné z: <http://www.exvalos.cz/kluzna-loziska---pouzdra/kluzna-loziska---pouzdra-skf-/>

[20] Dvojrádové naklápacie guľkové ložiská. In: *Zvlslovakia* [online]. Žilina: ZVL SLOVAKIA [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.zvlslovakia.sk/produkty/dvojradove-naklapacie-gulkove-loziska/>

[21] Dvojrádové súdkové ložiská. In: *PSl* [online]. Považská Bystrica: PSL [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: http://www.psl.sk/sk/produkty/dvojradove_sudkove.php

[22] Axiálne jednosmerné a obojsmerné guľkové ložiská. In: *Zvlslovakia* [online]. Žilina: ZVL SLOVAKIA [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.zvlslovakia.sk/produkty/axialne-jednosmerne-a-obojismerne-gulkove-loziska/>

[23] Axiálne guľkové ložiská jednosmerné, obojsmerne. In: *Sun-bearing* [online]. Pacific Place 3, Hong Kong: Sun Rises Group Limited [vid. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://sk.sun-bearing.com/ball-bearings/thrust-ball-bearings/thrust-ball-bearings-double-direction.html>

- [24] 5. LOŽISKOVÉ OCELE. In: *Kmi2.uniza* [online]. Žilina: Katedra materiálového inžinierstva – UNIZA, 2010 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: http://kmi2.uniza.sk/wp-content/uploads/2010/10/Loziskove_ocene-teoria.pdf
- [25] 7. Ložiska - všeobecné údaje. In: *Zkl* [online]. Brno: ZKL [cit. 2019-03-29]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs/pro-konstruktery/7-loziska-vseobecne-udaje#top>
- [26] Real centrifugal casting. In: *Manufacturingguide* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/real-centrifugal-casting>
- [27] Kluzná ložiska bronz, železo, ocel: Kluzná ložiska z masivního bronzu. In: *Kluznaložiska* [online]. Brno: MIDOL [vid. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.kluznaložiska.cz/kluzna-loziska-bronz-zelezo-ocel>
- [28] Bearing Materials. In: *Youtube* [online]. 20. 12. 2016 [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=5qU-BCQwF28&list=WL&index=13&t=1291s>
- [29] Vysoko Presné Ocel'ové Púzdra, Ložisko Bush, Bronz Bush. In: *Sk.glidlager* [online]. Jiashan County, Zhejiang Province: JIASHAN RONCAN SLIDE BEARING CO. [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://sk.glidlager.com/bimetal-bearings/steel-bronze-bushings/high-precision-steel-bushing-beari.html>
- [30] Soustružení čepů a pouzder: Ložiskové pouzdro. In: *Traproduction* [online]. Zlín: TRA production [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.traproductio.cz/article/soustruzeni-cepu-pouzder>
- [31] Kluzná ložiska bronz, železo, ocel: Kluzná pouzdra z bronzu s grafitovými hnízdy. In: *Kluznaložiska* [online]. Brno: MIDOL [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.kluznaložiska.cz/kluzna-loziska-bronz-zelezo-ocel>
- [32] Prášková metalurgie. In: *Jhamernik.sweb* [online]. [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Metalurgie.htm>
- [33] Manufacturing Process. In: *Goasintered* [online]. Goa Sintered Product [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <http://goasintered.com/manufacturing-process/>
- [34] SKOTNICOVÁ, Kateřina a Miroslav KURSA. *Prášková metalurgie: studijní opory : učební text, scénáře, testy*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3378-1.
- [35] BOSTON GEAR FB-57-3: Bost-Bronz Oil-Impregnated Sintered Bronze Bearing Item #101775967. In: *Applied* [online]. Cleveland, OH: APPLIED INDUSTRIAL TECHNOLOGIES [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.applied.com/c-brands/c-altra-industrial-motion/c-boston-gear/fb-57-3/Bost-Bronz-Oil-Impregnated-Sintered-Bronze-Bearing/p/101775967>
- [36] Injection Molding. In: *Custompartnet* [online]. 2007, 2007 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.custompartnet.com/wu/InjectionMolding#top>

- [37] FURDOVÁ, Alena, Denisa FIALOVÁ, Michal MARKO a Peter LEŠKO. Úvod do 3D tlače: Ako 3D tlač funguje. In: *Portal.fmed.uniba* [online]. Bratislava: Lekárska fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, 2018, 19. 5. 2018 [cit. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://portal.fmed.uniba.sk/clanky.php?aid=333>
- [38] Printing a custom bushing. In: *Youtube* [online]. 2012, 13. 2. 2012 [vid. 2019-04-21]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ZmyRkIRush4&list=WL&index=15&t=0s>
- [39] ARBAK, Murat, A. erman TEKKAYA a Feridun ÖZHAN. Comparison of various preforms for hot forging of bearing rings. *Journal of Materials Processing Tech* [online]. Elsevier B.V, 2005, 169(1), 72-82 [cit. 2019-05-13]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.11.020. ISSN 0924-0136. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605003742>
- [40] VASILKO, Karol, et al. *Valivé ložiská*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1988, 576 s. MDT 621.822.6.
- [41] ISCAR v ložiskovom priemysle. In: *Tribotechnika* [online]. Žilina: ISCAR SR [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42017/iscar-v-loziskovom-priemysle-.html>
- [42] GIORLEO, L., E. CERETTI a C. GIARDINI. Energy consumption reduction in Ring Rolling processes: A FEM analysis. *International Journal of Mechanical Sciences* [online]. Elsevier, 2013, 74, 55-64 [cit. 2019-05-13]. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2013.04.008. ISSN 0020-7403. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002074031300132X>
- [43] Ball Bearing. In: *Madehow* [online]. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <http://www.madehow.com/Volume-1/Ball-Bearing.html>
- [44] Osobná konzultácia, 03. 05. 2019, Pavol Miša, Schaeffler Skalica, spol. s r. o.
- [45] BOMAR pásová pila na kov ERGONOMIC 320.250 G. In: *Karas* [online]. Mýto: KARAS saws [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://www.karas.cz/catalog/pasove-pily-na-kov/bomar/gravitacni-pasove-pily/bomar-pasova-pila-na-kov-ergonomic-320-250-g-101-020-b1>
- [46] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [47] CNC SÚSTRUH SPINNER TC 400. In: *Stroje.bost* [online]. Trenčín: BOST SK [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: <https://stroje.bost.sk/produkty/cnc-sustruhy/cnc-sustruhy-spinner/cnc-sustruh-spinner-tc-400>
- [48] PRAMET - Nástroje a destičky pro soustružení. In: *Mav* [online]. 2014 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.mav.cz/data/katalog/k_soustr_pramet.pdf

- [49] PRAMET - Obrábění děr. In: *Mav* [online]. Vsetín: M&V [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.mav.cz/data/katalog/k_otvory.pdf
- [50] Rovinná brúška Bernardo BSG 40100 TDC s digitálním odměřováním. In: *Boukal-naradie* [online]. Litvínov-Chudeřín: BOUKAL [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.boukal-naradie.sk/kovoobrabacie-stroje/rovinna-bruska-bernardo-bsg-40100-tdc-s-digitalnim-odmerovanim/>
- [51] Brúsny kotúč plochý. In: *Abse* [online]. Martin: Abrasivservis [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.abse.top/produkty?detail=tyrolit-brusny-kotuc-plochy-brusivo-umely-korund-svetloruzovy-pojivo-keramicke-pre-ocel-%CB%82-55-hrc-nerez-priemer-350x50x127-mm-zrno-46-tvrдост-k210287>
- [52] Brúška na kulato Proma PBK-1000. In: *Boukal-naradie* [online]. Litvínov-Chudeřín: BOUKAL [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.boukal-naradie.sk/bruska-na-kulato-proma-pbk-1000/>
- [53] Kotouč T1 400x50x127 98A60K9V40 423008 TYROLIT. In: *Prodej Brusiva* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t1-400x50x127-98a60k9v40-423008-tyrolit>
- [54] Kotouč T12 125/40x14/3x20-6x9x40 99BA60K9V32 430011 TYROLIT. In: *Prodej Brusiva* [online]. Česká Třebová: Techcentrum [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/kotouc-t12-12540x143x20-6x9x40-99ba60k9v32-430011-tyrolit>
- [55] Superfinišování pro výrobu valivých ložisek. In: *Sktechnik* [online]. Brno: SK Technik [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.sktechnik.cz/dokumenty/katalogy/supfina-walzlager.pdf>
- [56] Superfinishing Stones. In: *Keihin-kogyo* [online]. Tokyo: Keihin Kogyosho Co [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: http://www.keihin-kogyo.co.jp/en/products/006_toishi_choushiage.html
- [57] Produkty. In: *Shop.mitutoyo* [online]. Teplice: Mitutoyo Česko [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: https://shop.mitutoyo.cz/web/mitutoyo/cs_CZ/index.xhtml?reset=1
- [58] 11TreciaSila. In: *Gymsnv* [online]. Gymnázium, Školská 7, Spišská Nová Ves [cit. 2019-02-21]. Dostupné z: <https://www.gymsnv.sk/predmetyZoznam/fyzika/dokumenty/Prvaci/11TreciaSila.pdf>
- [59] KOVAČIK, Jozef a Martin BENIAČ. STATIKA PRE ŠPECIÁLNE INŽINIERSTVO: 6.2 Čapové trenie. In: *Fbi.uniza* [online]. Žilina: Fakulta špeciálneho inžinierstva, ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE, 2005, 2005 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: http://fbi.uniza.sk/ktvi/leitner/2_predmety/ZMPT/FSI_Statika.pdf

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratka	Popis
DMLS	Direct metal laser sintering
DLP	Digital light processing
FDM	Fused deposition modeling
LOM	Laminated object manufacturing
PA	Polyamid
PEEK	Polyéteréterketón
PPS	Polyfenylénsulfid
PTFE	Polytetrafluóretylén
Si₃N₄	Nitrid kremíka
SLA	Stereolitografia
SLS	Selective laser sintering

Symbol	Jednotka	Popis
D_P	[mm]	Priemer polotovaru
F_G	[N]	Gravitačná sila
F_N	[N]	Kolmá tlaková sila medzi telesami (normálová sila)
F_P	[N]	Kolmá tlaková sila medzi telesami (výslednica kontakt. tlaku)
F_T	[N]	Trecia sila pri šmykovom trení
F_{T0}	[N]	Maximálna statická trecia sila
L_Č	[mm]	Prídavok na čelo obrobku
L_{max}	[mm]	Maximálna dĺžka súčiastky
L_P	[mm]	Dĺžka polotovaru
M	[N.m]	Moment valivého odporu
R_a	[μm]	Priemerná aritmetická odchýlka profilu povrchu
d_{max}	[mm]	Maximálny priemer súčiastky
r	[mm]	Polomer čapu (hriadeľa)
μ₀	[–]	Súčiniteľ statického trenia
μ_č	[–]	Súčiniteľ čapového trenia

μ_s	[-]	Súčiniteľ šmykového trenia
ξ	[mm]	Rameno valivého odporu

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1	Súčinitele trenia
Príloha 2	Výkres vonkajšieho ložiskového krúžku
Príloha 3	Rámcový technologický postup

PRÍLOHA 1

Súčinitele trenia (statického, dynamického a čapového) a hodnoty ramien valivého odporu.

Hodnoty súčiniteľov trenia [46].

Materiály trecích povrchov	Súčiniteľ statického trenia μ_0		Súčiniteľ šmykového trenia μ_s	
	Suché trenie	Kvapalinové trenie	Suché trenie	Kvapalinové trenie
ocel'-ocel'	0,15 – 0,20	0,10 – 0,12	0,10 – 0,20	0,03 – 0,09
ocel'-liatina	0,20 – 0,30	0,13 – 0,27	0,17 – 0,18	0,05 – 0,10
ocel'-bronz	0,11 – 0,15	0,10 – 0,20	0,10 – 0,15	0,005 – 0,008
liatina-liatina	0,25	0,16 – 0,18	0,15	0,07 – 0,15
liatina-bronz	0,25	0,08	0,15 – 0,20	0,07 – 0,15
bronz-bronz	0,25	0,10 – 0,11	0,20	0,06 – 0,12
koža-liatina	0,30 – 0,60	0,12 – 0,15	0,40 – 0,60	0,12 – 0,15
guma-asfalt	0,50 – 0,70	–	0,60 – 0,80	0,10 – 0,15
ferodo-liatina	0,60 – 0,70	–	0,20 – 0,40	–
ferodo-ocel'	–	–	0,50 – 0,60	0,30 – 0,50
tvrdená tkanina-ocel'	–	–	0,25 – 0,40	0,03 – 0,12
PA-ocel'	–	–	0,20 – 0,45	0,04 – 0,20
PVC-ocel'	–	–	0,60	–

Hodnoty jednotlivých súčiniteľov sú len orientačné. Závisia na prevádzkových podmienkach a kvalite daných povrchov (rovnako ako aj v ďalších tabuľkách tejto prílohy).

Veľkosť maximálnej pokojovej trecej sily: $F_{T0} = \mu_0 \cdot F_N$ [58].

Veľkosť trecej sily: $F_T = \mu_s \cdot F_N$ [1].

Hodnoty ramien valivého odporu [46].

Materiály kontaktných plôch	Rameno valivého odporu ξ
nekalená ocel'-nekalená ocel'	0,05 – 0,06
kalená ocel'-kalená ocel' (valivé ložiská)	0,001 – 0,005
liatina-liatina	0,005 – 0,006
ocel'ové koleso-koľajnica	0,4 – 0,5
pneumatika-betón	1,5 – 2,5
pneumatika-asfalt	2,5 – 4,5

Veľkosť momentu valivého odporu: $M = \xi \cdot F_p$ [5].

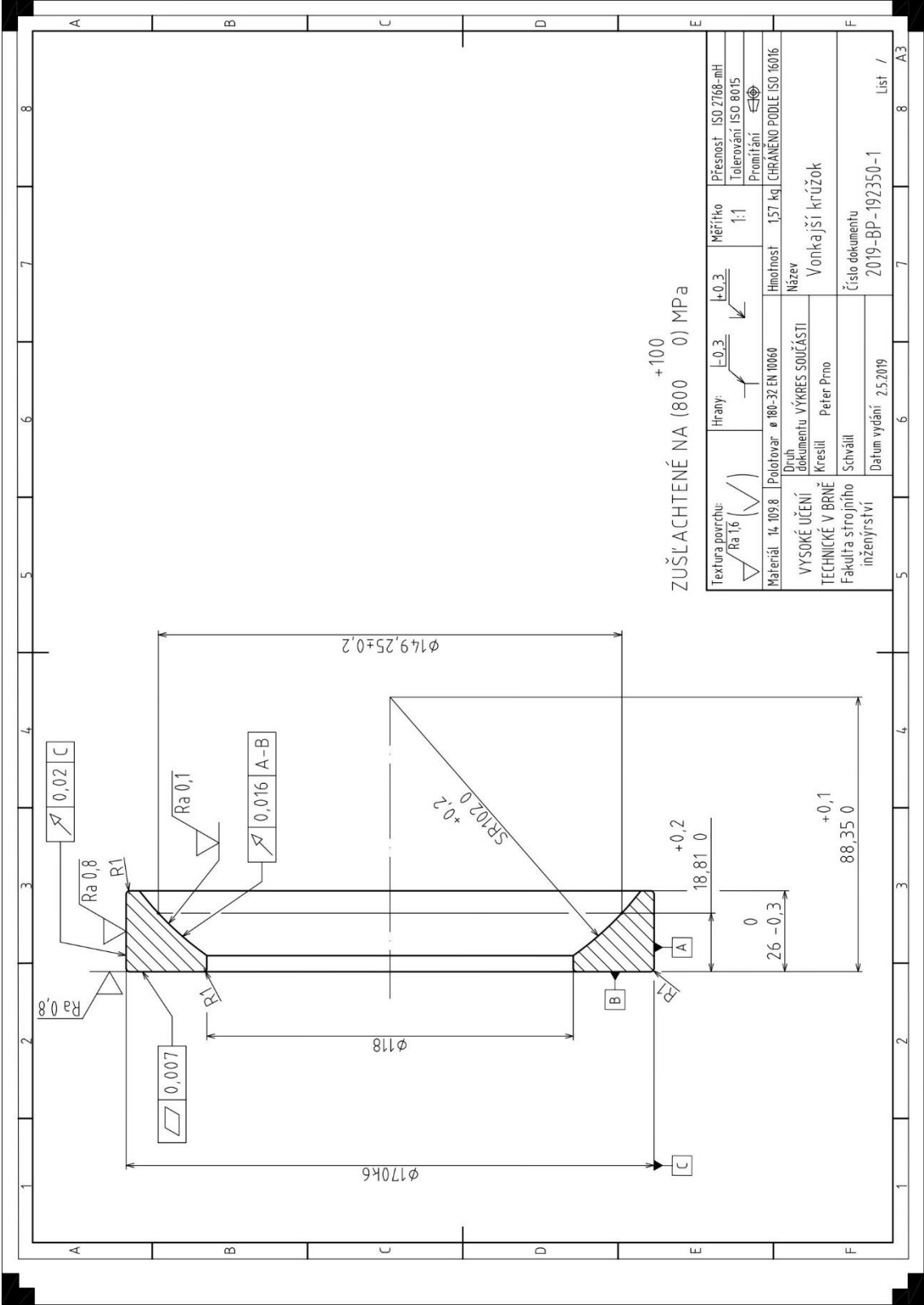
Hodnoty súčiniteľov čapového trenia [46].

Materiál (hriadeľ-puzdro)	Súčiniteľ čapového trenia μ_c
ocel'-ocel' (nekalená)	0,05 – 0,06
ocel'-liatina	0,04 – 0,05
kalená ocel'-bronz	0,003 – 0,005
liatina-bronz	0,045 – 0,05
ocel'-kompozícia	0,01 – 0,015

Veľkosť momentu čapového trenia: $M_c = Q \cdot r \cdot \mu_c$ [59].

PRÍLOHA 2

Výkres vonkajšieho ložiskového krúžku.



PRÍLOHA 3

Výrobný postup vonkajšieho ložiskového krúžku.

Rámcový postup výroby			
Počet kusov: 10	Materiál: 14 109.8 (ČSN 41 4109)	Súčiastka: Vonkajší krúžok (2019-BP-192350-1) Polotovár: ø 180-32 (EN 10060)	Hrubá hmotnosť: 6,40 kg Čistá hmotnosť: 1,57 kg
Číslo operácie	Stroj, triediace číslo	Operácia	Nástroje, meradlá
00/00	Pila BOMAR ERGONOMIC 320.250 G (05967)	Deliť tyč na dĺžku $32 \pm 0,5$.	Pílový pás 2910x27x0,9 M42 10/14
01/01	Kontrola (18725)	Skontrolovať rozmer: $32 \pm 0,5$ (početnosť 20 %).	Mitutoyo Digital ABS Caliper
02/02	CNC Sústruh SPINNER TC 400 (44417)	Upnúť obrobok s vyložením $L = 17$. Zarovnať čelo na $L = 29,25_{-0,5}$. Vrtáť strediaci otvor do hĺbky $5^{+0,5}$. Vrtáť otvor $\varnothing 40$ skrz. Hrubovať $\varnothing 118$ na $\varnothing 116,2^{+0,6}$ skrz. Dokončovať $\varnothing 117,7^{+0,6}$. Hrubovať $\varnothing 170k6$ na $\varnothing 172,5_{-1}$ do $L = 13^{+0,5}$. Dokončovať $\varnothing 170k6$ na $\varnothing 170,7_{-0,2}$ do $L = 13^{+0,5}$. Sústružiť 2xR1.	PCKNR 3225 P12 VRD CNMG 120408E-M Vrták strediaci 60° – TVAR A 2 Vrták s válcovou hlavou krátky 40x135/70 A25T-DCLNR12 VRD CNMG 120408E-M DWLNR 3225 P 08 WNMG 080408E-FM
03/03	CNC Sústruh SPINNER TC 400 (44417)	Otočiť obrobok, upnúť za $\varnothing 170,6 \pm 0,1$ s vyložením $L = 17$. Zarovnať čelo na $L = 26,4_{-0,2}$. Hrubovať $\varnothing 170k6$ na $\varnothing 172,5_{-1}$ do $L = 13^{+0,5}$. Dokončovať $\varnothing 170k6$ na $\varnothing 170,7_{-0,2}$ do $L = 13^{+0,5}$. Sústružiť R1.	PCKNR 3225 P12 VRD CNMG 120408E-M A25T-DCLNR12 VRD CNMG 120408E-M DWLNR 3225 P 08 WNMG 080408E-FM

		Hrubovať SR102 ^{+0,2} na SR99,5 ⁺¹ . Dokončovať SR102 ^{+0,2} na 101,4 ^{+0,2} .	
04/04	Čistenie (09914)	Očistiť.	
05/05	Kontrola (38715)	Skontrolovať rozmery: ø170,6±0,1 (početnosť 100 %) ø118±0,3 (početnosť 20 %) 26,3±0,1 (početnosť 100 %) SR101,5±0,1 (početnosť 100 %)	SMS Mitutoyo CRYSTA-Plus M
06/06	Kooperácia (externá firma) (81736)	Zušľachtiť podľa výkresu.	
07/07	Čistenie (09914)	Očistiť.	
08/08	Rovinná brúska Bernardo BSG 40100 TDC (05621)	Upnúť obrobok. Brúsiť čelo na L = 26 _{-0,3} (Ra = 0,8).	Brúsiaci kotúč TYROLIT T1 350x40x127 98A 46 K 9 V 40
09/09	Kontrola (18725)	Skontrolovať rozmer: 26 _{-0,3} (početnosť 100 %). Skontrolovať Ra = 0,8 (početnosť 100 %).	Mitutoyo Digital ABS Caliper Mitutoyo Surftest SJ-210
10/10	Brúska na guľato Proma PBK-1000 (05514)	Upnúť obrobok. Brúsiť ø170k6 (Ra = 0,8).	Brúsiaci kotúč TYROLIT 400x50x127 98A 60 K 9 V 40
11/11	Kontrola (38715)	Skontrolovať rozmer: ø170k6 (početnosť 100 %). Skontrolovať Ra = 0,8 (početnosť 100 %).	SMS Mitutoyo CRYSTA-Plus M Mitutoyo Surftest SJ-210
12/12	Brúska na guľato Proma PBK-1000 (05514)	Upnúť obrobok. Brúsiť SR102 ^{+0,2} na SR101,98 ^{+0,2} (Ra = 0,8).	Brúsiaci kotúč TYROLIT T12 125/40x14/3x20- 6x9x40 99BA K 9 V 32

13/13	Kontrola (38715)	Skontrolovať rozmer: SR101,98 ^{+0,2} (početnosť 100 %). Skontrolovať Ra = 0,8 (početnosť 100 %).	SMS Mitutoyo CRYSTA-Plus M Mitutoyo Surftest SJ-210
14/14	Supfina 725 typ A (05779)	Upnúť obrobok. Superfinišovať SR102 ^{+0,2} (Ra = 0,1).	Superfinišovací kameň GC2000RH40
15/15	Čistenie (09914)	Očistiť.	
16/16	Kontrola (38715)	Skontrolovať rozmery: SR 102 ^{+0,2} (početnosť 100 %). ø149,25±0,2 v L = 18,81 ^{+0,2} (početnosť 100 %). Skontrolovať Ra = 0,1 (početnosť 100 %). Triediť podľa odchýlky od menovitého rozmeru obežnej dráhy.	SMS Mitutoyo CRYSTA-Plus M Mitutoyo Surftest SJ-210 Mitutoyo Digital Indicator ID-S
17/17	Expedícia (09912)	Konzervovať. Zabaliť. Poslať do montáže.	